ELEKTROINDUSTRIE DER DDR



Handbuch Prozeßsteuerungstechnik

VEM-Handbuch Prozeßsteuerungstechnik

VEM-Handbuch Prozeßsteuerungstechnik

Herausgeber:
Zentrum für Forschung und Technologie
des VEB Elektroprojekt und Anlagenbau Berlin

2., durchgesehene Auflage



VEB VERLAG TECHNIK BERLIN

Redaktionelle Leitung: Dr.-Ing. *Kurt Grubba*

Autoren:

Dr.-Ing. *Walter Brandt* Abschnitt 5.
Dipl.-Ing. *Heinz Gottschalk* Abschnitt 4.2.
Dr.-Ing. *Kurt Grubba* Abschnitte 1., 2. und 3.
Dr.-Ing. *Joachim Krause* Abschnitte 6. und 7.
Dr.-Ing. *Heinrich Wilke* Abschnitte 4.1. und 4.3.

VEM-Handbuch Prozeßsteuerungstechnik/Hrsg.:
Zentrum für Forschung u. Technologie d. VEB
Elektroprojekt u. Anlagenbau Berlin. —
[Autoren: Walter Brandt ...]. — 2., durchges.
Aufl. — Berlin: Verl. Technik, 1988. —
312 S.: 164 Bilder, 72 Taf.
ISBN 3-341-00485-8
NE: Prozeßsteuerungstechnik

ISBN 3-341-00485-8

2., durchgesehene Auflage

Lizenz 201 · 370/106/88
Printed in the German Democratic Republic
Gesamtherstellung: VEB Druckerei „Thomas Müntzer“, Bad Langensalza
Lektor: Ing. Inge Epp
Schutzumschlag: Kurt Beckert
LSV 3515 · VT 3/5513-2
Bestellnummer: 553 886 7
03200

Vorwort

Die Automatisierung von technologischen Prozessen wird im erheblichen Maß durch Prozeßsteuerungen bestimmt. Durch den Einsatz der Elektronik haben sich ganz entscheidende Veränderungen ergeben. Die Geräteindustrie stellt mit vollelektronischen Systemen sowohl für verbindungsprogrammierte als auch für speicherprogrammierbare Steuerungen ausgereifte Lösungen zur Verfügung, die zunehmend das Bild in den Produktionsbetrieben bestimmen. Mit den speicherprogrammierbaren Steuerungen gewinnt der Aspekt der Software immer mehr an Bedeutung. Steuerschränke mit Relais verschwinden zugunsten kleinerer und zuverlässigerer Einheiten. Es beginnt die Ablösung des Leuchtschaltbildes in den Warten und des Bedienpultes durch interaktive Bildschirmgeräte, die eine Verfolgung und Veränderung des Prozeßablaufs und des Zustands der Steuerungen gestatten. Auf dem Bildschirm ist wahlweise komprimiert eine Übersicht, so wie es von der konventionellen Warte her bekannt ist, oder aufgelöst eine Detaildarstellung aufrufbar.

Es ist Anliegen des Buches, diese sich international vollziehende Wandlung deutlich zu machen und beispielhaft eine Anleitung für die Anwendung der neuen Generation zu geben, die sich mit den Systemwarenzeichen „ursamat" und „VEM-audatec" nicht nur in der Volkswirtschaft der DDR, sondern auch auf dem Weltmarkt einen festen Platz erobert hat.

Die Autoren gehören sowohl zum Geräte- als auch zum Anlagenbau. Dadurch war es möglich, das Handbuch auf einen Stand zu bringen, der bisher für das Gebiet der Prozeßsteuerung mit binären elektrischen Signalen in dieser zusammengefaßten Form nicht erreicht wurde. Es wird damit auch die traditionelle und erfolgreiche Arbeitsteilung der Kombinate Elektro-Apparate-Werke Berlin-Treptow (KEAW) und Automatisierungsanlagenbau (KAAB) unterstrichen.

Das Buch ist vorzugsweise für technische Fachkräfte vorgesehen, die auf den Gebieten der Forschung und Entwicklung, der Konstruktion, Projektierung, Fertigung und Inbetriebsetzung sowie Wartung tätig sind. Es wird aber auch den Studierenden an Hoch- und Fachschulen einen Einblick in die Aufgaben der Praxis gewähren und so eine Brücke zu ihrer zukünftigen Arbeit schlagen.

Für die Unterstützung des Buchvorhabens danken die Autoren herzlich dem Herausgeber, dem Zentrum für Forschung und Technologie des VEB Elektroprojekt und Anlagenbau Berlin, Stammbetrieb des Kombinates Automatisierungsanlagenbau; für die kritischen und sachdienlichen Hinweise dem Vorsitzenden des Fachausschusses 14 „Steuerungs- und Regelungstechnik" der KDT, Herrn Ing. *R. Friedberg*, und Herrn Prof. Dr. sc. techn. *I. Neumann* von der Technischen Hochschule Leipzig sowie Frau Ing. *Inge Epp* vom VEB Verlag Technik.

Kurt Grubba

Inhaltsverzeichnis

0. Verzeichnis häufig verwendeter Abkürzungen

AKBS	aufgabenklassenbezogenes Betriebssystem
AS	Antriebssteuerung
ASSK	Ansteuerschaltkreis
AST	Aufgabenstellung
AUW	Arbeitsunterweisung
BG	Baugruppe
BGE	Baugruppeneinsatz
DSS	Datensteuerstation
CAD	Computer Aided Design (rechnergestützter Entwurf)
DÜ	Datenübertragung
DV	Datenverarbeitung
EA	Ein-Richtungs-Antrieb
E/A	Eingabe/Ausgabe
EAB	VEB Elektroprojekt und Anlagenbau Berlin
EDV	elektronische Datenverarbeitung
EDVA	elektronische Datenverarbeitungsanlage
EPROM	erasable PROM (löschbarer PROM)
EGS	Einheitliches Gefäßsystem
EMR	Ein-Chip-Mikrorechner
ESER	Einheitliches System elektronischer Rechenanlagen
ESS	Einheitssteuerungssystem
FE	Funktionseinheit
FGS	Funktionsgruppensteuerung
IB	Inbetriebsetzung
IV	Informationsverarbeitung
IVA	Informationsverarbeitungsanlage
KAAB	VEB Kombinat Automatisierungsanlagenbau
KEAW	Kombinat VEB Elektro-Apparate-Werke Berlin-Treptow „Friedrich Ebert"
KES	Karteneinschub
LB	Lochband
LED	Lichtemitterdiode
LSI	Large Scale Integration (Großintegration)
LWL	Lichtwellenleiter
MB	Magnetband
MOS	maschinenorientierte Sprache
MP	Mikroprozessor
MR	Mikrorechner
MRS	Mikrorechnersystem
MSI	Medium Scale Integration (Mittelintegration)
MTBF	Mean Time Between Failures (mittlerer Ausfallabstand)
PAG	Programmablaufgraph
PAP	Programmablaufplan
POS	problemorientierte Sprache
PRAP	Prozeßablaufplan
PROM	Programmable ROM (programmierbarer ROM)

RAM	Random Access Memory (Speicher mit wahlfreiem Zugriff, Lese-Schreib-Speicher)
ROM	Read Only Memory (Nur-Lese-Speicher)
SP	speicherprogrammierbar
SPS	speicherprogrammierbare Steuerung
SSI	Small Scale Integration (Kleinintegration)
STAP	Steuerungsablaufplan
SV	Stromversorgung
UP	Unterprogramm
VE	Verarbeitungseinheit
VOS	Vor-Ort-Station
VOST	Vor-Ort-Steuerung
VP	verbindungsprogrammiert
VPS	verbindungsprogrammierte Steuerung
WE	Wareneingang
ZA	Zwei-Richtungs-Antrieb
ZPK	Zentraler Projektierungskatalog
ZVE	zentrale Verarbeitungseinheit

1. Einführung und Übersicht

1.1. Aufgaben der Prozeßautomatisierung

Das Niveau jeder technisch hochentwickelten Volkswirtschaft wird durch technologische Großprozesse bestimmt. Ihrer wirkungsvollen Automatisierung fällt eine entscheidende Rolle zu. Generell bestehen für die zu automatisierenden technologischen Prozesse folgende Tendenzen, die durch die Anwendung neuer wissenschaftlich-technischer Erkenntnisse und insbesondere durch die Nutzung der Fortschritte der Halbleitertechnologie realisierbar sind:

Anlagentrends

- Erhöhung des Energie- und Massedurchsatzes, wie größere Leistung je technologische Einheit
- Verbesserung der Qualität der Prozeßführung, die zu Erzeugnissen mit engeren Toleranzen führt

Ziele der Automatisierung

- Erhöhung der Qualität der erzeugten Produkte
- Einsparung von Energie und Material
- Gewährleistung des Umweltschutzes
- Steigerung der Arbeitsproduktivität
- Einsparung von Arbeitskräften
- Ermöglichung einer stabilen, bedienarmen Prozeßführung

Kennzeichnende neue Automatisierungsaufgaben

- Automatisierung der An- und Abfahrprozesse
- Optimierung der stationären Fahrweise
- Reduzierung bzw. Einsparung von Hilfsprozessen
- Beherrschung umfangreicher und komplexer Anlagen
- automatische Überwachung zum Schutz der Menschen, der Anlagen, der Produktion und der Umwelt.

Dazu ist auch eine tiefere Durchdringung der technologischen Prozesse notwendig, um eine algorithmische Aufbereitung ihrer Gesetzmäßigkeiten zu sichern.

Für das Erzeugnis „Automatisierungsanlage", das vom VEB Kombinat Automatisierungsanlagenbau (KAAB) repräsentativ vertreten wird, sind die in Tafel 1.1 aufgeführten Haupteinsatzgebiete mit den charakterististischen Merkmalen der eingesetzten Automatisierungsanlagen maßgebend. Die bei der Prozeßautomatisierung eingesetzten binären Steuerungen, im folgenden kurz Steuerungen oder Prozeßsteuerungen genannt, haben auch Beispielwirkung für mittlere und kleinere Prozesse. Abgerüstete Varianten, Geräte und einzelne Baugruppen finden u. a. Verwendung bei Steuerungen für Be- und Verarbeitungsmaschinen, für Transport- und Lagerprozesse und bei der Automatisierung des Schiffsbetriebes.

1.2. Historische Entwicklung

Die Entwicklung der Steuerungstechnik ist eng mit der Entwicklung der gesamten Elektrotechnik verbunden. Schon früh entstand das Bedürfnis, elektrophysikalische Systeme von einem über-

Tafel 1.1. Haupteinsatzgebiete für industrielle Automatisierungsanlagen

Haupteinsatzgebiete	Charakteristische Merkmale der eingesetzten Automatisierungsanlagen
Anlagen zur Prozeßautomatisierung, insbesondere für – Kraftwerke – Chemieanlagen – Walzwerke – Zementwerke	umfangreiches, variierendes Spektrum von Automatisierungsaufgaben, z. B. bei – Chemieanlagen: vorwiegend Meßwerterfassung und Regelung, wenig Steuerung – Zementwerken: vorwiegend Steuerung, wenig Regelung – Walzwerken: Steuerung und „schnelle“ Antriebsregelung – Kraftwerken: sowohl Meßwerterfassung und Regelung als auch Steuerung, komplexeste Automatisierungsaufgabe räumlich ausgedehnte Anlagen mit vielen dezentralen Meß- und Stellgliedern, d. h., hoher Verkabelungsaufwand und Maßnahmen zur Eliminierung von elektromagnetischen Störfeldern notwendig rechnergestützte Lösungen für das Bedienregime (Bildschirmwarten) zunehmende Aufwendungen für den Anlagenschutz, z. B. aus sicherheitstechnischen Gründen zwingend bei Kernkraftwerken erforderlich
Numerische Steuerungen für – Werkzeugmaschinen – Industrieroboter	Programmsteuerungen mit quantitativ meßbaren Größen in numerischer Form (Zahlenangaben) enge Verwandtschaft der Informationsverarbeitung mit der elektronischen Datenverarbeitung (große Datenmengen, häufiger und schneller Programmwechsel) Bereitstellung von konfektionierten Lösungen, die an den jeweiligen Maschinentyp angepaßt werden
Einrichtungen zur Eisenbahn- – signal- und – sicherungstechnik	sicherheitsgerichtete Einrichtungen, die bei jedem möglichen Fehler in den für den Prozeß ungefährlichen Zustand fallen (Signal auf „Halt“) Datenfernübertragung, bedingt durch die langen Streckenabschnitte

geordneten Niveau zu beeinflussen, zu „steuern“. Historisch bedingt standen in der 2. Hälfte des 19. Jahrhunderts die Systeme zur Elektroenergieerzeugung, -übertragung und -anwendung und zur drahtgebundenen Nachrichtentechnik im Vordergrund. Das Relais, 1837 erfunden, erwies sich dabei als sehr geeignetes Bauelement für Steuerungsaufgaben. Es prägte für fast ein Jahrhundert das Bild der Steuerungstechnik, und es hat selbst heute, vielfach verbessert, umkonstruiert und in verschiedenen Ausführungen, einen festen Platz in der Technik.

Mit Hilfe von Relais konnten die wesentlichsten Forderungen zur Steuerung von Systemen erfüllt werden:

- Betätigung mit einem wesentlich geringeren Spannungs- und Leistungsniveau bis hinein in den Bereich der ungefährlichen Kleinspannung
- galvanische Trennung des zu steuernden Systems vom ansteuernden System
- ideales Schaltverhältnis, d. h. hohe Leitfähigkeit bei Kontaktgabe, keine Leitfähigkeit bei Kontakttrennung.

Demgegenüber standen lediglich zwei Nachteile, die eine Verwendung bei anspruchsvollen Steuerungsaufgaben einschränkten:

- nicht vernachlässigbare Schaltzeiten, die durch das trägheitsbehaftete elektromagnetische System bedingt sind, und
- Grenzen bei der weiteren Miniaturisierung.

Beide Nachteile waren für die konventionelle Elektrotechnik gewöhnlich ohne Bedeutung. Selbst die ersten Schritte der Datenverarbeitung wurden mit Relais vorgenommen. Die ersten programmgesteuerten Rechner arbeiteten mit Relais.

Für schnelle Schaltvorgänge fanden in der Folgezeit Elektronen- und Ionenröhren Verwendung. Sie bildeten für allgemeine Aufgaben keine Alternative zu den Relais. Erst die Erfindung des

Transistors im Jahre 1948 leitete eine neue Etappe ein. Die Halbleiterelektronik hob die beiden Mängel der Relaistechnik auf: Schaltzeiten und Volumen konnten in der Folgezeit um Größenordnungen verkleinert werden. Dafür mußte allerdings auf eine galvanische Trennung verzichtet werden, und es mußten technische und ökonomische Einschränkungen in bezug auf Spannungsfestigkeit und Schaltstrom in Kauf genommen werden. Seit Mitte der 50er Jahre sind die Steuerungstechnik und die Elektronik fest miteinander verknüpft.

Bauelemente der Halbleitertechnik wurden zunächst nur zögernd für Steuerungen in Industrieanlagen eingesetzt. Galt es doch, die besonderen Anforderungen industrieller Anlagen, wie härtere Umgebungsbedingungen und höhere Spannungs- und Leistungspegel, zu berücksichtigen. So entstanden zuerst die sogenannten Blockbausteine, bei denen die elektronische Schaltung mit einer Kunstharzmasse vergossen in einem Metallbecher untergebracht war. Damit war es möglich, die ersten sogenannten „kontaktlosen Steuerungen" aufzubauen.

Inspiriert durch die guten Erfahrungen der elektronischen Datenverarbeitung mit ungeschützten Baugruppen, folgten bald ähnlich gestaltete Baugruppensysteme, die durch Tauchen in eine Überzugsmasse widerstandsfähig gegen äußere Einflüsse gemacht wurden. Durch den Einsatz immer höherintegrierter Standardschaltkreise wurde eine beachtliche Verarbeitungstiefe innerhalb einer Baugruppe erreicht. Die Spezialisierung nahm zu.

Erst die Einführung des Prinzips der speicherprogrammierbaren Steuerung brachte die notwendige Universalität, auch bei Nutzung von hochintegrierten Schaltkreisen. Eine völlig neue Qualität entstand durch die Einbeziehung von Mikroprozessoren. Diese Technik bestimmt das internationale Niveau.

Im Bild 1.1. wird die Entwicklung verdeutlicht. Die industrielle Automatisierungstechnik ist durch die beiden Hauptzweige „Steuerung" und „Regelung" bestimmt (die 3. Komponente „Messen" der sogenannten MSR-Technik kann in die „Regelung" eingeordnet werden). Im Bild sind beide Zweige mit ihren Entwicklungsstufen nebeneinandergestellt und in der letzten Etappe zusammengeführt. Diese Zusammenführung ergibt sich auf der Ebene der Informationsverarbeitung durch die gleiche Bauelementebasis und durch gleiche Verarbeitungsprinzipien bei Einsatz von Mikrorechnern. Hierbei wird der Unterschied zwischen Steuerung und Regelung verwischt und nahezu aufgehoben. Die Unterschiede zeigen sich in den Verarbeitungsalgorithmen, die zu anders strukturierten Programmen führen.

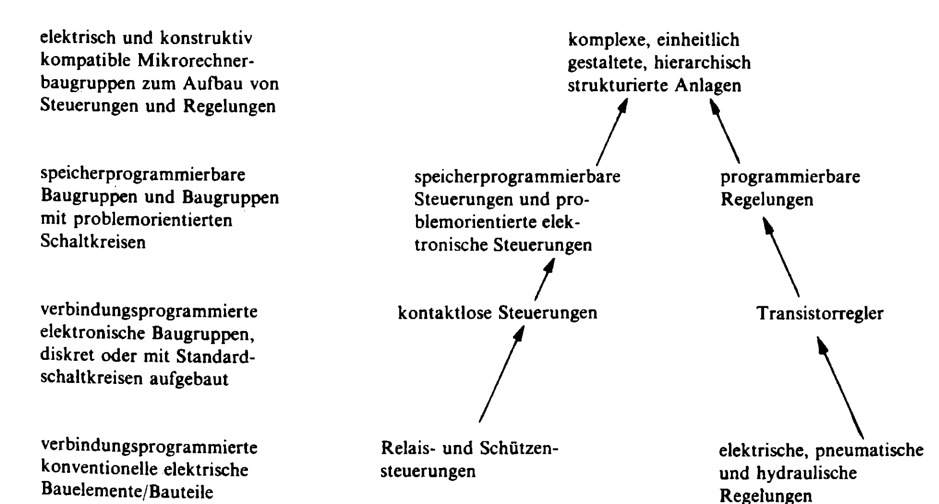


Bild 1.1. Entwicklungsstufen von Steuerungen und Regelungen in Abhängigkeit vom Stand der Gerätetechnik

Die Grundmerkmale neuer Anlagengenerationen werden in beiden Fällen gleichermaßen erfüllt:

- Digitalisierung der Informationsverarbeitung
- Informationsverarbeitung über Bussysteme
- Einsatz von Bildschirmwarten zur „Mensch-Maschine-Kommunikation"
- Dezentralisierung der Informationsverarbeitung
- hierarchisch gegliederte Anlagenstrukturen
- Einsatz von Lichtwellenleitern zur Informationsübertragung
- bestimmende Rolle der Software bei der Anlagengestaltung.

Echtzeitanforderungen, Eingabe- und Ausgabeprobleme, verschiedene Entwurfsmethodiken und Theorieansätze sowie die problemnahe Notierung lassen es gegenwärtig ratsam erscheinen, zwei getrennte Systemzweige für die vorzugsweise Bearbeitung von steuerungs- und regelungstechnischen Aufgaben vorzusehen. Das schließt nicht aus, daß im Rahmen eines Gerätezweiges auch Aufgaben des anderen übernommen werden.

1.3. Entwicklung der Prozeßsteuerungstechnik in der DDR

In der DDR gab es als erstes Erzeugnis aus der Serienfertigung das TRANSLOG-System mit Germaniumbauelementen, das ab 1961 verfügbar war und mit dem im Automatisierungsanlagenbau die ersten Erfahrungen mit „kontaktlosen Steuerungen" gesammelt wurden. Probleme, die damals auftraten, sind heute gegenstandslos oder werden sicher beherrscht, z. B.

- Restströme der Germaniumhalbleiterbauelemente,
- Störbeeinflussung sowohl innerhalb der elektronischen Steuerung als auch auf den Zuleitungen,
- Ausfälle durch ungenügenden Schutz vor Schaltüberspannungen, die durch eingesetzte induktivitätsbehaftete Bauelemente erzeugt wurden,
- Schwierigkeiten bei der Technologie elektronischer Schaltungen auf gedruckten Leiterplatten, verursacht durch nicht beseitigte Frühausfälle und Vergußmassen mit verschiedenen Ausdehnungskoeffizienten,
- Entwurfsprobeleme bei den nun immer umfangreicher werdenden logischen Schaltungen, verknüpft mit unerwünschten dynamischen Effekten.

Die Theorien der Schaltalgebra und Automaten mußten für die Praxis aufbereitet werden. Es entstanden rechnergestützte Entwurfsverfahren.

Insgesamt hat sich das TRANSLOG-System mit Germaniumbauelementen jedoch hervorragend bewährt und einen nicht mehr wegzudenkenden Beitrag zur Automatisierung der Volkswirtschaft der DDR und für den Export geleistet. Es wurden mit TRANSLOG sowohl Großanlagen (mit etwa 10000 Bausteinen) als auch Anlagen für verschärfte Umgebungsbedingungen (z. B. für den Schiffsbetrieb) ausgeführt. Insgesamt fertigte das Kombinat VEB Elektro-Apparate-Werke Berlin-Treptow „Friedrich Ebert" (KEAW) bis zur Ablösung durch das mit Siliziumtransistoren bestückte Nachfolgesystem TRANSLOG 2 mehrere Millionen Stück TRANSLOG-Bausteine.

Durch seine beabsichtigte robuste Bauweise und den damit verbundenen Platzbedarf war TRANSLOG nicht für alle Anwendungsfälle optimal einsetzbar. 1965 wurde im Rahmen des „ursamat-Systems" des KEAW der Systemzweig „ursalog" eingeführt, mit dem auf der Basis von Kartenbaugruppen eine wesentlich höhere Packungsdichte erreichbar wurde. Das ursalog-System mit Germaniumbauelementen fand jedoch für Prozeßsteuerungen nicht die Verbreitung wie TRANSLOG. Ein Grund hierfür war, daß wegen des höheren Funktionsinhalts eine Spezialisierung für bestimmte Anwendungsfälle notwendig wurde. Aus diesem Grund entstanden für den Werkzeugmaschinenbau und die Leistungselektronik eigene Kartenbaugruppen (Systeme WEMALOG bzw. TRANSRESCH).

Die erste Etappe der elektronischen Prozeßsteuerungstechnik wurde mit der Einführung von

diskreten Siliziumbauelementen abgeschlossen. Ab 1968 war ursalog-S, ab 1971 TRANSLOG 2 verfügbar.

Die Siliziumbauelemente, teilweise in Dünnschicht-Hybridtechnik (KME-3-Schaltkreise) verarbeitet, führten zu einer Verbesserung der Gebrauchswerte, besonders bei der Erhöhung der zulässigen Umgebungstemperatur.

Die für die qualitative Weiterentwicklung der Prozeßsteuerungstechnik notwendige Systemarbeit wurde, beginnend ab 1968, vom Institut für Elektro-Anlagen (IEA), jetzt Zentrum für Forschung und Technologie des VEB Elektroprojekt und Anlagenbau Berlin, gemeinsam mit den Betrieben des Industriezweigs in Angriff genommen. Ziel war, entscheidende Verbesserungen in bezug auf die elektrischen Eigenschaften, den Integrationsgrad und die Gestaltung der Verknüpfung zu erreichen.

Als Rahmen wurde das Einheitssteuerungssystem (ESS) fixiert. Grundlage für das ESS bildeten Analysen ausgeführter oder in Entwicklung befindlicher Steuerungsanlagen, für die aus technischen und ökonomischen Gründen Schwachstromsteuerungen bevorzugt wurden. Dabei zeigte sich, daß fast alle industriellen Steuerungsprozesse auf einheitliche Funktionsgruppen zurückgeführt werden können. Daraus ergab sich die Forderung, universell einsetzbare Baugruppen unabhängig von ihrem technologischen Einsatzgebiet zu entwickeln. Das Ergebnis der Analyse war von großer Bedeutung für die weitere Entwicklung der Prozeßsteuerungen über einen langen Zeitraum [1.1].

In diesem Zusammenhang entstanden u. a. semielektronische Baugruppen, deren bauelementeseitige Basis auf gedruckten Leiterplatten untergebrachte Miniaturrelais mit gasgeschützten Kontakten und Siliziumbauelemente waren. Mit diesen Baugruppen wurde in den 70er Jahren die Automatisierung von Kohlekraftwerken und Zementwerken in großem Umfang vorgenommen.

Das ESS hatte nicht nur zum Ziel, ein geordnetes Sortiment von Geräten mit standardisierten Daten und Grundschaltungen bereitzustellen, sondern auch die Grundlagen für eine einheitliche Anlagenkonzeption zu schaffen. Dazu gehörte die Entwicklung typisierter Baugruppen, wie der Antriebsbaustein und eine neue Meldeordnung, die Festlegung verschiedener Steuerungsprinzipien und der Gedanke der auf- und abrüstbaren hierarchisch gegliederten Steuerung mit verschiedenen Ebenen.

Die im Rahmen des ESS geleistete Grundlagenarbeit war die Basis für die Entwicklung von Baugruppensystemen mit höherintegrierten Funktionen. Mit der Einführung von Halbleiterblockschaltkreisen wurden auch dem Steuerungstechniker mehr Möglichkeiten bei der Anlagenentwicklung gegeben.

Als erstes wurden Werkzeugmaschinen mit solchen Steuerungen ausgerüstet, beginnend 1970 mit dem System NC 400 und den nichtnumerischen Steuerungen mit den dafür gesondert nach Werkstandard ausgelegten Baugruppen mit TTL-Schaltkreisen bis hin zur frei programmierbaren Steuerung PS 2000 und rechnerintegrierten Steuerung CNC 600. Die Steuerungen für Werkzeugmaschinen einschließlich Robotersteuerungen zählen zu den speziellen Steuerungen, über die im Rahmen dieses Buches nicht weiter berichtet werden soll. Es wird auf die einschlägige Fachliteratur verwiesen, z. B. [1.2].

Gleichfalls bleiben aus o. g. Gründen die Steuerungsbaugruppen für Antriebsregelungen ausgeklammert, die, als TRANSRESCH-Si ebenfalls dem Standard der Technik angepaßt, ab 1975 analoge und digitale Halbleiterblockschaltkreise enthalten [1.3] [1.4].

Häufige Generationswechsel sind bei komplexen Aufgabengebieten, wie sie bei Prozeßsteuerungen vorkommen, aus ökonomischen und organisatorischen Gründen nicht durchführbar. Die Erfahrung hat gezeigt, daß jedes Bausteinsystem für eine Reihe von Jahren genutzt wird, selbst wenn zwischenzeitlich besser geeignete Bauelemente verfügbar sind. Der Preis eines Bausteinsystems wird zwar wesentlich durch die Bauelementekosten bestimmt, genauso wesentlich ist aber der Aufwand für die Entwicklung, Projektierung, Neuorientierung der Anwender, Ersatzteilhaltung und Serviceleistungen.

Bei Prozeßsteuerungen blieb deshalb die Anwendung der Halbleiterblocktechnik erst der neuen Generation mit Baugruppen ursalog 4000/5000 vorbehalten, die schrittweise ab 1978 produktionswirksam wurde und seit 1980 das Profil des Automatisierungsanlagenbaus entscheidend beein-

flußt. Damit wird das derzeitige internationale Niveau auf dem Gebiet der Prozeßsteuerungen mitbestimmt. Der dadurch repräsentierte Stand der Technik ist demzufolge Hauptgegenstand des vorliegenden Buches. Innerhalb eines historisch kurzen Zeitraums hat sich eine gravierende Veränderung ergeben. Die einschlägigen Veröffentlichungen [1.5] belegen es anschaulich.

1.4. Internationale Entwicklungstendenzen

Wie wird die weitere Entwicklung aussehen, die in diesem Buch noch nicht exakt dargestellt werden kann?

In ihren Eigenschaften verbesserte Relais und Blockbausteine ähnlich TRANSLOG 2 werden auch später für die Kleinautomatisierung ihre Bedeutung behalten.

Verbindungsprogrammierte Baugruppensysteme auf der Basis von ursalog 4000 haben hinsichtlich ihrer systemtechnischen Auslegung einen solchen Stand erreicht, daß keine wesentlichen Veränderungen zu erwarten sind. Weitere technische Verbesserungen sind natürlich nicht ausgeschlossen, wie z. B. elegantere Lösungen zur galvanischen Trennung und zur Leistungsverstärkung. Der Einsatz einzelner, noch höher integrierter Schaltkreise, die z. B. die Funktion einer kompletten Prozeßsteuerung wahrnehmen, erscheint allerdings unwahrscheinlich. Gute Möglichkeiten werden dagegen für die Nutzung von mikroelektronisch programmierbaren logischen Anordnungen gesehen. Bei diesen Schaltkreisen liegen auf dem Halbleiterchip eine große Anzahl unverknüpfter Grundfunktions- und Standardkombinationsglieder vor. Sie erhalten erst beim Aufbringen der letzten Verbindungsebene die gewünschte logische Struktur.

Viel mehr Chancen, das Gesicht der Prozeßsteuerungstechnik zu bestimmen, werden allerdings speicherprogrammierbare Steuerungen mit Mikrorechnern haben, d. h. die Weiterentwicklung von ursalog 5000. Abgesehen davon, daß es für die Halbleiterindustrie ökonomischer ist, universelle Schaltkreise in großen Stückzahlen herzustellen als hochspezialisierte in kleinen, ist die den Mikrorechnerstrukturen eigene Flexibilität für den Automatisierungsanlagenbau von großer Bedeutung.

Technische Fortschritte und projektbedingte Veränderungen bei den zu automatisierenden Anlagen verursachen immer wieder neue Aufgabenstellungen für die Automatisierungsanlage. Weitgehende Flexibilität in der Projektierungsphase und bequeme Möglichkeiten zur späteren Veränderung des Steuerungsablaufs sind ein vordergründiger Aspekt moderner Automatisierungstechnik [1.6] [1.7]. Neuentwickelte Schaltkreise für die Prozeßsteuerungstechnik werden deshalb vorzugsweise spezielle Mikroprozessoren sein, die für eine bestimmte Klasse von Steuerungsaufgaben besonders geeignet sind und die mit konfektionierten, auf Lager gehaltenen Festwertspeichern weitgehend an ihre konkreten Aufgaben angepaßt werden.

Die jetzt schon vorhandene Annäherung der Steuerungstechnik zur Rechentechnik wird sich weiter fortsetzen. Dafür gibt es zwei wesentliche Gründe:

- Für die zum Komplex der Automatisierung gehörenden Hauptaufgaben des Regelns und des Messens wird dieser Weg ebenfalls beschritten.
- Die Erfahrungen und Ergebnisse anderer Industriezweige und -bereiche können einbezogen werden.

Weitere Veränderungen bei Prozeßsteuerungen betreffen die Einführung neuer Wirkprinzipien im peripheren Bereich, wie konsequenter Einsatz der Lichtwellenleitertechnik und direkter digitaler Geber. Dabei wird auch die Struktur der Prozeßsteuerung einige Veränderungen erfahren. Prozeßnahe Steuerungseinrichtungen und prozeßnahe Bussysteme werden Realität.

Einen ganz wesentlichen Aspekt bildet der zunehmende Einsatz von Industrierobotern als Stellglied. Industrieroboter sind intelligente Einrichtungen, die mit autonomen speicherprogrammierbaren Steuerungen ausgerüstet sind. Mit Industrierobotern können weitere Hilfs- und Nebenprozesse, die bisher noch der Mitwirkung des Menschen bedurften, der Automatisierung erschlossen werden. Dazu gehören u. a. die Beschickung technologischer Anlagen, Transport und Lagerung sowie die Zwischen- und Endkontrolle.

Im Prinzip ist die Lösung dieser Aufgaben auch ohne Roboter in die Prozeßsteuerung integrierbar. Das Entscheidende ist aber die Nutzung der zum Industrieroboter gehörenden mechanischen Manipulatortechnik, die ohne Eigenentwicklung spezieller Vorrichtungen in die Anlagen zur Prozeßautomatisierung zur Komplettierung übernommen werden kann. Damit ist der Weg zur vollautomatischen Fabrik, wie er bereits jetzt in der metallverarbeitenden Industrie praktiziert wird, auch für die Prozeßautomatisierung beschreitbar. Der Mensch übernimmt nur noch Kontrollfunktionen [1.8].

2. Grundbegriffe und Darstellungen

2.1. Begriffe und Definitionen

Basis für die in diesem Abschnitt und auch in den folgenden benutzten Begriffe, Definitionen und Darstellungen sind in erster Linie die staatlichen Standards der DDR, von denen für das Fachgebiet wesentliche im Abschnitt 3.3.3. zusammengefaßt und mit einer Kurzbeschreibung versehen sind, sowie Arbeiten des Geräte- und Anlagenbaus der DDR zur einheitlichen Begriffsbildung unter Berücksichtigung einschlägiger IEC-Publikationen [2.1] bis [2.6]. Mit einbezogen wurden die Ergebnisse weiterer Systematisierungsarbeiten aus dem deutschsprachigen Raum zur Vereinheitlichung von Begriffen, Normen und Darstellungen der Steuerungstechnik [2.7] bis [2.10] und RGW-Empfehlungen [2.11] [2.12]. Weitere anwendungsbezogene Standards und Hinweise auf Projektierungsrichtlinien sind in den einzelnen Abschnitten angegeben.

2.1.1. Zum Begriff des Steuerns

Grundbegriffe für Steuerungen sind in TGL 14591 fixiert. Dort heißt es zunächst:

„**Steuern** ist der Vorgang des zielgerichteten Beeinflussens von Größen in Systemen".

Das Steuern kann mit offenen oder geschlossenen Steuerungen ausgeführt werden.

„Eine **offene Steuerung** ist eine Steuerung, bei der die zu steuernden Größen eines Systems durch geeignete Steuergrößen über einen offenen Signalflußweg zielgerichtet beeinflußt werden".

Bild 2.1.1 soll diese Definition verdeutlichen.

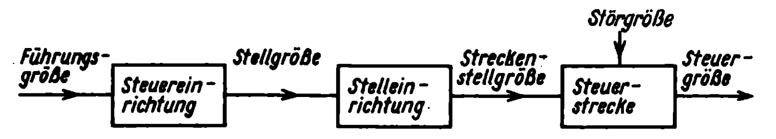


Bild 2.1.1. Prinzipielle Struktur einer offenen Steuerung

„Eine **geschlossene Steuerung** ist eine Steuerung, bei der die zu steuernden Größen eines Systems durch geeignete Steuergrößen über einen geschlossenen Signalflußweg zielgerichtet beeinflußt werden. Eine besondere Form der geschlossenen Steuerung ist die Regelung."

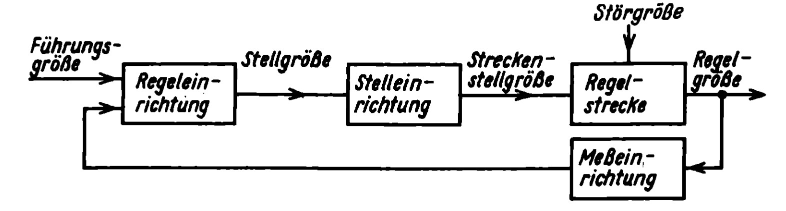


Bild 2.1.2. Prinzipielle Struktur einer geschlossenen Steuerung, im besonderen eines Regelkreises

Siehe hierzu Bild 2.1.2. In TGL 14591 wird somit klar zum Ausdruck gebracht, daß der tradionell neben dem Begriff „Steuerung" gestellte Begriff „Regelung" auf eine spezielle Form der Steuerung hinweist. Der Oberbegriff ist, wie international üblich, die „Steuerung".

Das Handbuch „Prozeßsteuerungstechnik" hat offene Steuerungen zum Inhalt, die bei der Automatisierung technologischer Prozesse angewendet werden und die intern vorzugsweise nach dem Prinzip der zeit- und prozeßgeführten Ablaufsteuerung organisiert sind (Näheres dazu s. Abschnitte 3.2.2. und 3.2.3.).

Unter einem **technologischen Prozeß** soll der Prozeß des Transports und der Verarbeitung von Stoffeingangs- und Energieeingangsströmen zur Gewinnung der geforderten Zwischenprodukte, Produkte oder Energien verstanden werden, der an spezialisierten Ausrüstungen nach einer vorgegebenen Technologie realisiert wird. Beispiele für bestimmende technologische Prozesse, die durch Anlagen zur Prozeßautomatisierung gesteuert werden, wurden bereits im Abschnitt 1.1. genannt. Die Steuerstrecke im Bild 2.1.1 ist der Teil der technologischen Ausrüstung, der zur Realisierung des technologischen Prozesses gemäß Aufgabenstellung und nach entsprechenden Vorschriften durch die Steuerung beeinflußt werden soll.

Wenn auch die Form der offenen Steuerung charakteristisch für Prozeßsteuerungen im Sinne dieses Handbuches ist, so sind doch in der technischen Realität Glieder vorhanden, die im Sinne einer geschlossenen Steuerung wirken. Erklärtes Ziel ist die **automatische Steuerung** (nach TGL 14591 ist das der Vorgang des Steuerns ohne unmittelbare Mitwirkung des Menschen), und dieses Ziel ist nicht ohne Rückmeldungen vom technologischen Prozeß erreichbar. Einzelne Prozeßgrößen werden mit zur Beeinflussung des Prozesses herangezogen, z. B. zur Ableitung der Weiterschaltbedingungen. Dennoch wäre es verfehlt, von einer Regelung zu sprechen, denn in TGL 14591 wird dazu ausgeführt:

„**Regeln** ist Steuern mit einer Rückführung, die so ausgeführt ist, daß die Werte der gesteuerten Größe fortlaufend mit den Werten der zugeordneten Führungsgrößen verglichen werden, um trotz einwirkender Störgrößen die Werte der gesteuerten Größen denen der Führungsgrößen durch Stellen anzugleichen."

Die Aufgabe einer Prozeßsteuerung besteht weiterhin darin, den Prozeß zu beobachten. Integrierter Bestandteil einer Steuerung sind neben ihrer eigentlichen Steuerungsfunktion die Aufgaben des Überwachens, Signalisierens und des Meldens.

2.1.2. Informationsdarstellung

Die bei Steuerungen auftretenden physikalischen Größen werden durch Signale repräsentiert. Ein **Signal**, so heißt es in TGL 14591, „ist die Darstellung von Informationen über Größen durch Signalträger, die Parameter enthalten, wobei Werte der Parameter die Zeitfunktionen der Größen abbilden".

Bild 2.1.3 illustriert diesen Zusammenhang.

Bei Prozeßsteuerungen sind analoge, digitale und binäre Signale von Bedeutung. Sie unterscheiden sich durch die Darstellung des Informationsparameters:

analog Die Informationsparameter können innerhalb festgelegter Grenzen jeden beliebigen Wert annehmen, Bild 2.1.3a und 2.1.3b.

digital Die Informationsparameter können nur bestimmte (diskrete) Werte innerhalb festgelegter Grenzen annehmen und werden codiert (meist als Binärwörter, d. h. als 0,1-Folgen, Bild 2.1.3c).

binär Der Informationsparameter kann nur genau zwei diskrete Werte annehmen (0 und 1), Bild 2.1.3d, spezieller Fall der diskreten Darstellung.

Informationsparameter können die Amplitude, Frequenz, Phase und Pulsbreite sein. Ausgehend von der Informationsdarstellung innerhalb der Steuereinrichtung, werden analoge, digitale oder binäre Steuerungen unterschieden. Die außerhalb der Steuereinrichtung wirkenden Signale bestimmen nicht die Art der Steuerung, Bild 2.1.4.

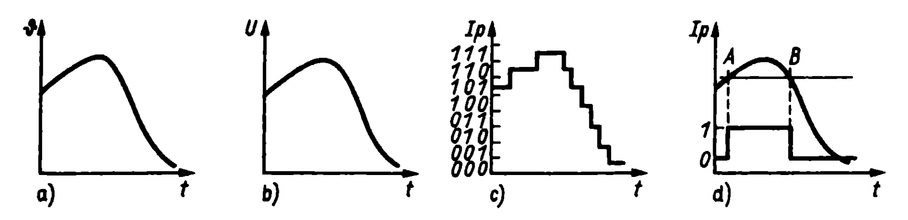


Bild 2.1.3. Zum Signalbegriff

a) zeitlicher Verlauf einer Prozeßgröße
b) Abbildung eines Signals nach a) auf den Informationsträger eines anderen Signalträgers (Amplitude einer Spannung) nach dem Messen, Wandeln und Verstärken
c) Digitalisierung des Signals nach b) und seine binäre Codierung nach dem Abtasten mit einem Analog-Digital-Umsetzer; Ip: Informationsparameter
d) binäres Signal, abgeleitet aus dem zeitlichen Verlauf der Prozeßgröße beim Erreichen der Schwellwerte an den Punkten *A* und *B*

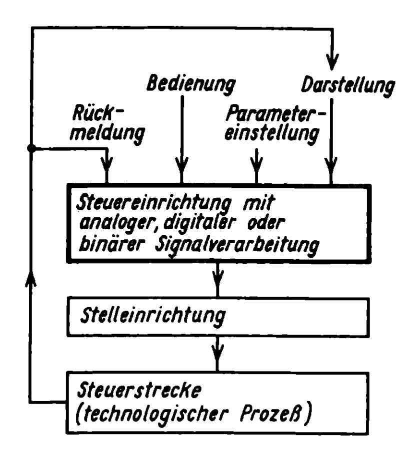


Bild 2.1.4
Struktur des Informationsflusses

Analoge Steuerung: Die Signalverarbeitung wird mit analogen Signalen durchgeführt. Typische Funktionseinheiten in der Steuereinrichtung sind Verstärker, Summierer, Multiplizierer und Begrenzer.

Digitale Steuerung: Zur Signalverarbeitung werden digitale Signale und Funktionseinheiten benutzt (Zähler, Register, Vergleicher, Addierer u. dgl.). Binäre Informationen über Schaltzustände werden häufig auch zu Binärwörtern zusammengefaßt, deren Länge meist an die der Wertedarstellung angepaßt ist.

Binäre Steuerung: Bei der Signalverarbeitung sind nur Schaltzustände (Ein-Aus) oder logische Entscheidungen (Ja-Nein) zu berücksichtigen. Es werden Verknüpfungs-, Zeit- und Speicherglieder eingesetzt.

Als Signalträger finden bei Steuerungen für die Automatisierung großer technologischer Prozesse überwiegend elektrische Spannungen Verwendung, die die 0,1-Folgen abbilden. Man spricht deshalb auch allgemein von elektrischen binären Steuerungen oder Systemen.

2.1.3. Schaltsysteme und Automaten

Es klang bereits an, daß die Steuerung mit Systemen erfolgt, die als Elemente Glieder zur binären oder digitalen Informationsverarbeitung enthalten. Die Struktur wird durch die Kopplung (Ver-

bindung) der Glieder gebildet. Diese Systeme, auch Schaltsysteme oder Schaltnetzwerke genannt, lassen sich nach Merkmalen klassifizieren, die paarweise zueinander disjunkt sind:

kombinatorisch — sequentiell
ungetaktet — getaktet
statisch — dynamisch.

Kombinatorische Steuerung (Verknüpfungssteuerung)

Bei kombinatorischen Steuerungen hängen die Ausgangssignale zu jedem Zeitpunkt nur von den im gleichen Zeitpunkt anliegenden Eingangssignalen ab. Bezogen auf Bild 2.1.5 läßt sich formu-



Bild 2.1.5
Formales Signalflußbild einer Steuerung

lieren, daß ein aktueller Vektor der Eingangssignale $\boldsymbol{E} = (E1, E2, ..., Em)$ über die Schaltfunktion F eindeutig den dazugehörigen Vektor der Ausgangssignale $\boldsymbol{A} = (A1, A2, ..., An)$ abbildet,

$$\boldsymbol{A} = F(\boldsymbol{E}) \,. \tag{2.1}$$

Kombinatorische Steuerungen heißen deshalb auch Zuordner. Sie enthalten nur Verknüpfungsglieder, s. a. Tafel 2.2.4., S. 30. Nicht zugelassen sind Rückführungen im signalverarbeitenden Teil. Die Schaltfunktion kombinatorischer Steuerungen wird meist als analytischer Ausdruck (Boolesche Gleichung) oder als deren Wertetabelle (Schaltbelegungstabelle, Wahrheitstabelle) angegeben, s. rechte Seite in der Tafel 2.2.4. Insbesondere bei Kürzungsverfahren ist auch die Darstellung als Karnaugh-Tafel oder als Graph üblich.

Für die Synthese von kombinatorischen Steuerungen stellt die Schaltalgebra Methoden und Verfahren bereit, mit denen Strukturen frei von Störeffekten (Hasards und Wettläufe) entworfen und hinsichtlich des Einsatzes von Verknüpfungsgliedern minimiert werden können [2.13] bis [2.21].

Ein sog. *Hasard* entsteht, wenn infolge der zeitlich unterschiedlichen Bereitstellung einzelner Eingangssignale Ei, $Ei \in \boldsymbol{E}$, einer Eingangskombination oder beim Übergang auf eine andere Eingangskombination im Vektor der Ausgangssignale $\boldsymbol{A}$ Zwischensignale Aj, $Aj \in \boldsymbol{A}$, auftreten, die zwar zeitlich begrenzt sind, aber zu Fehlinterpretationen führen können. Das gleiche Erscheinungsbild in $\boldsymbol{A}$ ergibt sich, wenn alle Eingangssignale einer Belegung zwar gleichzeitig anstehen, aber durch unterschiedliche Laufzeiten im Schaltsystem ungleichmäßig verzögert werden. Diese Erscheinung wird *Wettlauf* genannt.

Sequentielle Steuerung

Bei den sequentiellen Steuerungen hängen die Ausgangssignale von den aktuellen Eingangssignalen **und** dem vorhergehenden Steuerungsablauf ab. Während das Ausgangsverhalten von kombinatorischen Steuerungen nur durch das Eingangsverhalten bestimmt wird, ist es bei sequentiellen Steuerungen noch von der „Vorgeschichte" des Steuerungsablaufs abhängig. Die Vorgeschichte legt den inneren Zustand der Steuerung fest, der in Speichergliedern hinterlegt wird. Allgemein gilt in der komprimierten Darstellung

$$^{k}\boldsymbol{A} = F(^{k}\boldsymbol{E}, {}^{k}\boldsymbol{Z}) \,, \tag{2.2}$$

d. h., jeder Vektor $\boldsymbol{A}$ der Ausgangssignale ist abhängig vom Vektor der anstehenden Eingangssignale $\boldsymbol{E}$ und der Zustandssignale $\boldsymbol{Z}$. F wird hier als Ausgangs- oder Ergebnisfunktion bezeichnet.

Der hochgestellte Index k weist auf den aktuellen Stand zu einem diskreten Zeitpunkt hin. Der nachfolgende Zustandsvektor (Index $k + 1$) der Steuerung ergibt sich zu

$$^{k+1}\mathbf{Z} = G(^{k+1}\mathbf{E}, {}^{k}\mathbf{Z}). \tag{2.3}$$

G wird Überführungsfunktion genannt. Speicherglieder können durch Signalrückführungen von den Ausgängen logischer Verknüpfungsglieder auf deren Eingänge bzw. auf die Eingänge davorgelagerter Glieder oder durch konzentrierte Speicherglieder, s. a. Tafel 2.2.5, Seite 32, gebildet werden.

Die Beschreibung und Minimierung sequentieller Steuerungen, die auch als Automaten bezeichnet werden, ist wesentlich aufwendiger als bei kombinatorischen Steuerungen [2.18] bis [2.24]. Zur Darstellung sind neben Schaltbelegungstabellen, Tafel 2.1.1, besonders Graphen, Bild 2.1.6, geeignet. Weitere Darstellungsmittel sind u. a. Algorithmenschemata, Ablaufpläne und Petri-Netze, s. a. Abschnitt 2.2.3.

Tafel 2.1.1. Schaltbelegungstabelle für die sequentielle Steuerung nach Bild 2.1.6

Zustände $^{k}Z1, {}^{k}Z2$	Eingangsbelegung ^{k}E	Ausgangsbelegung ^{k}A	Folgezustände $^{k+1}Z1, {}^{k+1}Z2$
0, 0	0	0	0, 1
0, 0	1	1	1, 0
0, 1	0	1	1, 0
0, 1	1	0	1, 1
1, 1	0	1	1, 1
1, 1	1	1	0, 0
1, 0	0	0	1, 1
1, 0	1	0	1, 0

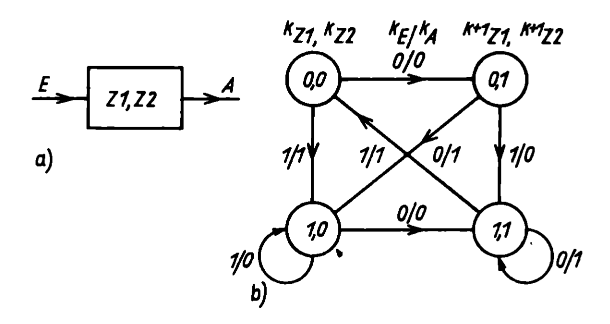


Bild 2.1.6
Beispiel für die Darstellung einer einfachen binären sequentiellen Steuerung mit zwei Zustandsvariablen (Z1, Z2) und je einem Eingang und Ausgang

a) symbolische Darstellung im Signalflußbild
b) Beschreibung mit Zustandsgraph. Im Knoten Kennzeichnung der Zustände, neben den gerichteten Zweigen die der Eingangs-/Ausgangsbelegung (s. a. Tafel 2.1.1)

Störeffekte in sequentiellen Steuerungen führen zu bleibenden Zustandsänderungen. Sie sind nicht zeitlich begrenzt wie bei den kombinatorischen Steuerungen. Neben Hasard und Wettläufen werden noch *Trios* unterschieden, die bei unterschiedlichen Verzögerungen der Eingangs- und Speichersignale entstehen.

Ungetaktete Steuerung (asynchrone Steuerung)

Bei ungetakteten Steuerungen führen die eingangsseitig anstehenden Signale sofort zu Zustandsänderungen. Diese Betriebsart ist problematisch, weil zeitlich unmittelbar aufeinanderfolgende Eingangssignale weitere Zustandsänderungen auslösen können, noch bevor die erste Änderung

des Zustands und die Ausgabe abgeschlossen sind. Es kann zu Hasards, kritischen Wettläufen und Trios kommen. Um einer Zufallsverteilung der Ausgangssignale vorzubeugen, sind Verzögerungs- oder zusätzliche Speicherglieder vorzusehen.

Getaktete Steuerung (synchrone Steuerung)

Bei getakteten Steuerungen werden die Eingangssignale zu genau festgelegten Zeitpunkten (ausgelöst durch einen Taktgeber) übernommen. Die Taktpausen sind zur Vermeidung von Störeffekten so zu bemessen, daß während dieser Zeit die Ergebnis- und Überführungsfunktion vollständig abarbeitbar ist.

Über eine spezielle Betriebsart verfügt die asynchron getaktete Steuerung, bei der aus jeder Eingangssignaländerung ein Takt abgeleitet wird (Selbsttaktung).

Statische Steuerung (Amplitudensteuerung)

Die Zustandsänderung erfolgt dann, wenn die Eingangssignale feste Werte erreicht haben und für eine bestimmte Zeit verharren (bei ungetakteten Steuerungen) bzw. beim gleichzeitigen Anstehen eines Taktsignals (bei getakteten Steuerungen), s. auch Bild 2.1.7a.

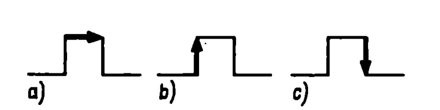


Bild 2.1.7
Auslösung von Steuerungen
a) statisch; b) dynamisch mit 0,1-Flanke; c) dynamisch mit 1,0-Flanke

Dynamische Steuerung (Flankensteuerung)

Die Zustandsänderung wird durch eine Flanke der Eingangssignale (bei ungetakteten Steuerungen) bzw. bei Änderung der Eingangssignale durch die Pulsflanke des Taktsignals eingeleitet (bei getakteten Steuerungen), s. a. Bild 2.1.7b und 2.1.7c.

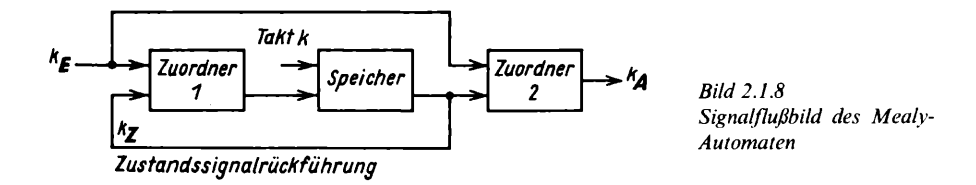


Bild 2.1.8
Signalflußbild des Mealy-Automaten

Im Bild 2.1.8 ist das Signalflußbild einer dynamisch getakteten sequentiellen Steuerung ausgeführt, die in der Automatentheorie als Mealy-Automat bezeichnet wird. Die Theorie weist nach, daß die Ergebnis- und Überführungsfunktion gemäß (2.2) und (2.3) mit kombinatorischen Verknüpfungsgliedern realisierbar ist. Speicherglieder sind nur für den mittleren Block, der zur Speicherung und Weitergabe des Vorzustands $^k\mathbf{Z}$ bzw. zur Verschiebung in den Zustand $^{k+1}\mathbf{Z}$, in dem sich der Automat beim nächsten Takt $k + 1$ befindet, notwendig.

In der Tafel 2.1.2 sind die 5 Grundtypen der Automaten zusammengestellt, auf die sich auch alle Steuerungsaufgaben zurückführen lassen. Näheres ist der einschlägigen Literatur zu entnehmen [2.25] bis [2.34].

Einen tieferen Einblick zu der in diesem Abschnitt nur angedeuteten Thematik der Schaltsysteme und Automaten unter besonderer Berücksichtigung der bei Prozeßsteuerungen relevanten Fragestellungen vermittelt [2.19].

Tafel 2.1.2. Automatengrundtypen

Bezeichnung	Signalflußbild	Notierung	Erläuterung
1	2	3	4
Zuordner	E – F – A	$A = F(E)$	Der innere Zustand des Automaten ändert sich nicht. Die Ausgangsfunktion *F* ist durch einen festen Zustand des Automaten bestimmt. *F* ordnet den Eingangssignalen ***E*** Ausgangssignale ***A*** zu (Zuordner, kombinatorische Schaltung, s. a. (2.1) und Bild 2.1.5)
Medwedjew-Automat	E – G bzw. E – Zuord-ner → Spei-cher – Z	$^{k+1}Z = G(^{k+1}E, {}^{k}Z)$	Dieser Automat hat keine Ausgänge. Er ändert nur seine inneren Zustände. Bei der Beschreibung interessieren nur die Knoten des Zustandsgraphen (Bild 2.1.6) bzw. die Spalten für die Zustände in der Automatentabelle (Tafel 2.1.1). Als solche Automaten sind z. B. digitale Meßgeräte mit inkrementalen Gebern auffaßbar, bei denen die einlaufenden Impulse eine Zustandsänderung des Zählers hervorrufen, die über Anzeigeelemente sichtbar gemacht wird.
Moore-Automat	E – F,G – A bzw. E – Zuord-ner → Spei-cher – Z → Zuord-ner – A	$^{k}A = F(^{k}Z)$ $^{k+1}Z = G(^{k+1}E, {}^{k}Z)$	Die Ausgangssignale bilden nur die inneren Zustände des Automaten ab, die Eingangssignale haben darauf keinen direkten Einfluß. Die Eingangssignale tragen aber zur Zustandsänderung bei. Der Moore-Automat ist aus dem Medwedjew-Automaten durch das Anfügen eines Zuordners entstanden. Im Beispiel des digitalen Meßgeräts werden seine Ausgangssignale zur Prozeßsteuerung nutzbar gemacht.

Tafel 2.1.2 (Fortsetzung)

Bezeichnung	Signalflußbild	Notierung	Erläuterung
1	2	3	4
Autonomer Automat	F,G — A bzw. Zuord-ner → Spei-cher — Z — Zuord-ner — A	${}^{k}A = F({}^{k}Z)$ ${}^{k+1}Z = G({}^{k}Z)$	Bei diesem Automaten fehlen die Eingänge. Die Ausgangssignale entstehen wie beim Moore-Automaten durch die Abbildung der Zustände, deren Änderungen nur durch den inneren Takt k des Automaten veranlaßt werden. Es wird ein festes Programm in einem vorgegebenen zeitlichen Ablauf abgearbeitet (zeitgeführte Ablaufsteuerung).
Mealy-Automat	E — F,G — A bzw. E — Zuord-ner → Spei-cher — Z → Zuord-ner — A	${}^{k}A = F({}^{k}E, {}^{k}Z)$ ${}^{k+1}Z = G({}^{k+1}E, {}^{k}Z)$	Der Mealy-Automat ist die allgemeine Form des Automatenmodells. Er schließt alle anderen Typen ein. Die Eingangssignale bestimmen sowohl die Ausgangssignale als auch die Zustände des Automaten mit, wie bereits im Bild 2.1.8 dargestellt. Dieser Automat ist ein repräsentatives Modell für die den Prozeßsteuerungen zugrunde liegende zeit- und prozeßabhängige Ablaufsteuerung.

2.2. Darstellungen

Die Glieder einer Steuerung und die Funktionsbeschreibung der gesamten Steuerung bedürfen einer verständlichen und eindeutigen Darstellung. Sie muß auch EDV-gerecht sein, um eine maschinelle Anfertigung und Weiterverarbeitung zu ermöglichen. Das bedingt das Verwenden von viereckigen Grundformen und einfachen grafischen Symbolen sowie das Beschränken auf wenige Buchstaben oder Buchstabenkombinationen, die auch international verständlich sind.

Die Schaltzeichen für logische Glieder werden an den Schnittstellen der Steuerung häufig mit Schaltzeichen der MSR-Technik und Elektrotechnik sowie mit Symbolen der zu automatisierenden technologischen Anlage kombiniert, die in TGL 14091 und anderen einschlägigen Standards festgelegt sind, z. B.

- TGL 8672 — Einheitliches System der Konstruktionsdokumentation (ESKD) des RGW; Symbole der Hydraulik und Pneumatik
- TGL 12900 — Sinnbilder für Rohrleitungen
- TGL 16001 bis 16070 — ESKD; Schaltzeichen; Schaltzeichen der Elektrotechnik

TGL RGW 287-76
TGL RGW 655-77
TGL RGW 661-77
TGL RGW 869
— TGL 16081 bis 16088 ESKD; Schaltpläne der Elektrotechnik

Auf die Einbeziehung von Schaltzeichen und Symbolen verschiedener Standards wird in der spezialisierten Literatur näher eingegangen [2.35] bis [2.42].

2.2.1. Binäre und digitale Glieder

Symbole und Kennzeichen für Glieder in Steuerungen in Form von Schaltzeichen sind durch TGL 16056 festgelegt. Die Anwendung der Schaltzeichen wird auch für die Formulierung der Aufgabenstellung für Steuerungen empfohlen, um eine eindeutige Beschreibung der geforderten Funktion zu gewährleisten.

Allgemeine Festlegungen

In den Tafeln 2.2.1 bis 2.2.3 sind, ausgehend von TGL 16056, die wichtigsten Fakten und Regeln für die Gestaltung der Schaltzeichen zusammengefaßt.

Tafel 2.2.1. Grundschaltzeichen und Kennzeichnung von Funktionen nach TGL 16056

☐	*Grundschaltzeichen* Viereck, Seitenverhältnis, ausgehend von einem Grundraster ≧4 mm, beliebig, aber den Anforderungen nach einer guten Erkennbarkeit bei voller Belegung genügend
	Grundschaltzeichen mit Nebenfeld Unterteiltes Viereck zur Aufnahme weiterer Merkmale. Die Nebenfelder können rechts und/oder links vom Hauptfeld angebracht sein. Haupt- und Nebenfeld sind in Zonen untergliederbar
× ×	*Kennzeichnung von Funktionen* Eintragung eines Funktionssymbols in das Hauptfeld entweder im oberen Teil oder in der Mitte. Hinter dem Symbol sind weitere erläuternde Ergänzungen, wie Zählindizes, zulässig.

Tafel 2.2.2. Funktionsbezeichnungen nach TGL 16056

1	ODER	*CT*	Zähler
&	UND	*CT* 2	Dualzähler
=	Äquivalenz	*CT* 10	Dezimalzähler
= 1	Antivalenz (1 und nur 1)	*CD*	Codierer
= *n*	*n* und nur *n*	*DC*	Decodierer
≧ *n*	Majorität	*DL*	Zeitglied (alternativ)
= =	Komparator	*F*	Impulsformer
		G	Generator

Tafel 2.2.2 (Fortsetzung)

M2	Addition Modulo 2		
& ◊	Montage-UND (wired AND)	*RG*	Register, allgemein
1 ◊	Montage-ODER (wired OR)	*RG* →	Register, rechtsverschiebend
▷	Verstärker	*RG* ←	Register, linksverschiebend
▷▷	Leistungsverstärker	*RG* ↔	Register, nach beiden Seiten verschiebend
		S	Univibrator (Monoflop)
⎍	Schwellwertelement		
⊢⊣	Verzögerungsglied, Zeitglied	*ST*	Schwellwertelement (Schmitt-Trigger, alternativ zu ⎍)
		T	Flipflop
		TT	Flipflop, zweistufig
		X/Y	Codewandler (*X* und *Y* frei wählbar)

Neben diesen Standardfunktionsbezeichnungen sind weitere Buchstaben oder -kombinationen zulässig, bedürfen bei Anwendung aber einer Erläuterung.

Tafel 2.2.3. Kennzeichnung der Ein- und Ausgänge nach TGL 16056

Eingang	Ausgang	
		direkt statisch
		invers statisch (negierend)
		direkt dynamisch (auf die ansteigende Flanke des Eingangssignals ansprechend bzw. mit ansteigender Flanke des Ausgangssignals reagierend)
		invers dynamisch (auf die abfallende Flanke des Eingangssignals ansprechend bzw. mit abfallender Flanke des Ausgangssignals reagierend)
		Anschluß ohne logische Information (für die Beschaltung mit passiven Netzwerken zur Änderung der elektrischen Kenndaten)
		von 0 auf 1 ansprechend (bei positiver Logik, d. h. bei 1-Pegel > 0-Pegel)
		von 1 auf 0 ansprechend (bei positiver Logik)

Zulässig, vor allem bei maschineller Darstellung, sind auch andere kreis- oder spitzenähnliche Symbole für die Kennzeichnung der Ein- und Ausgänge. Diese Symbole können auch in die Umrandung des Haupt- oder Nebenfeldes hineinragen.

Tafel 2.2.4. Elementare kombinatorische Verknüpfungsglieder mit max. zwei Eingangssignalen und einem Ausgangssignal

Bezeichnung des Gliedes	Schaltfunktion				Schaltzeichen
	Boolesche Gleichung	Schaltbelegungstabelle			
		E1	*E2*	*A*	
UND	$A = E1 \wedge E2$	0	0	0	E1, E2 – & – A
		0	1	0	
		1	0	0	
		1	1	1	
ODER	$A = E1 \vee E2$	0	0	0	E1, E2 – 1 – A
		0	1	1	
		1	0	1	
		1	1	1	
NICHT (Negator)	$A = \overline{E}$	0	—	1	E – ○ – A
		1	—	0	
NOR (ODER-NICHT)	$A = \overline{E1 \vee E2}$	0	0	1	E1, E2 – 1 ○ – A
		0	1	0	
		1	0	0	
		1	1	0	
NAND (UND-NICHT)	$A = \overline{E1 \wedge E2}$	0	0	1	E1, E2 – & ○ – A
		0	1	1	
		1	0	1	
		1	1	0	
Antivalenz	$A = (E1 \wedge \overline{E2}) \vee (\overline{E1} \wedge E2)$	0	0	0	E1, E2 – =1 – A
		0	1	1	
		1	0	1	
		1	1	0	
Äquivalenz	$A = (E1 \wedge E2) \vee (\overline{E1} \wedge \overline{E2})$	0	0	1	E1, E2 – = – A
		0	1	0	
		1	0	0	
		1	1	1	
Inhibitor	$A = \overline{E1} \wedge E2$	0	0	0	E1 ○, E2 – & – A
		0	1	1	
		1	0	0	
		1	1	0	
Implikator	$A = \overline{E1} \vee E2$	0	0	1	E1 ○, E2 – 1 – A
		0	1	1	
		1	0	0	
		1	1	1	

Kombinatorische Verknüpfungsglieder

Elementare kombinatorische Verknüpfungsglieder sind mit ihrer Schaltfunktion in Tafel 2.2.4 aufgeführt. Unter Nutzung von Nebenfeldern sind Gruppen von Verknüpfungsgliedern zusammenfaßbar. Bild 2.2.1 zeigt dafür ein Beispiel. Zur Realisierung der Schaltfunktion

$$A1 = ((E1 \wedge E2) \vee (E3 \wedge E4)) \wedge ((E5 \wedge E6) \vee (E7 \wedge E8)) \qquad (2.4)$$

sind die gleichrangigen Ein-/Ausgänge in Nebenfeldern angeordnet und mit den zugehörigen Funktionsbezeichnungen versehen. Auch weitere Markierungen von Ein-/Ausgängen sind zugelassen, wie *A*, *B*, *C*, ..., oder die Hinzunahme eines Zählindex für die Funktionsbezeichnungen, wie &1, &2, ...

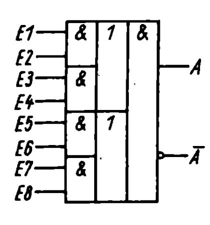


Bild 2.2.1.
Beispiel für eine Gruppe mit dreistufiger Verknüpfungsschaltung

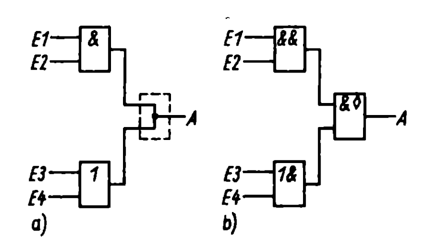


Bild 2.2.2
Beispiel für eine Montage-UND-Verknüpfung
a) Ausführung; b) Darstellung mit Pseudoelement

Montage-UND und -ODER sind mit einem Pseudoelement darstellbar, wie es Bild 2.2.2 für den Fall

$$A = (E1 \wedge E2) \wedge (E3 \vee E4) \qquad (2.5a)$$

sichtbar macht.

Hier und in den vorhergehenden Gleichungen und Tafeln sind die Operationszeichen $\wedge$ (logisch UND) und $\vee$ (logisch ODER) voll ausgeschrieben worden (nach TGL 14591). Üblich ist meist eine abgekürzte Schreibweise unter Fortfall des Zeichens $\wedge$;

$$A = E1E2(E3 \vee E4)\,. \qquad (2.5b)$$

Nach TGL 16056 ist anstelle von $\vee$ das Zeichen + zugelassen, das bei rechnergestützten Darstellungen günstiger ist;

$$A = E1E2(E3 + E4)\,. \qquad (2.5c)$$

Die ältere Schreibweise & für UND ist nur noch in den Symbolen für logische Glieder anzutreffen.

Bei der Zusammenfassung von Eingängen kann vorteilhaft von Umformregeln Gebrauch gemacht werden, die aus den Gesetzmäßigkeiten der Schaltalgebra hervorgehen (nach [2.18]):

$$E4E1 \vee E3E1 \vee E2E1 = E1(E4 \vee E3 \vee E2) \qquad (2.6)$$

$$E2E1 \vee \overline{E2}E1 = E1(E2 \vee \overline{E2}) = E1 \qquad (2.7)$$

$$(E2 \vee E1)(\overline{E2} \vee E1) = E1 \vee E2\overline{E2} = E1 \qquad (2.8)$$

$$E2(E2 \vee E1) = E2 \vee E2E1 = E2 \qquad (2.9)$$

$$E2 \vee E2E1 = E2(1 \vee E1) = E2 \qquad (2.10)$$

$$E2 \vee \overline{E2}E1 = (E2 \vee \overline{E2})(E2 \vee E1) = E2 \vee E1 \qquad (2.11)$$

$$E2(\overline{E2} \vee E1) = E2\overline{E2} \vee E2E1 = E2E1 \qquad (2.12)$$

$$E3E2 \vee E3\overline{E1} \vee E2E1 = (E3 \vee E1)(E2 \vee \overline{E1}) = E2\overline{E1} \vee E2E1 \qquad (2.13)$$

$$(E3 \vee E2)(E3 \vee \overline{E1})(E2 \vee E1) = (E3 \vee \overline{E1})(E2 \vee E1) = E3E1 \vee E2\overline{E1} \qquad (2.14)$$

Tafel 2.2.5. Technisch bedeutungsvolle Speicherglieder (statische Ansteuerung)

Bezeichnung des Gliedes	Ausgangsfunktion	Schaltzeichen	Schaltbelegungstabelle		
RS-Flipflop	$A = E1 \vee (\overline{E2} \wedge A^*)$ Nebenbedingung: $E1 \wedge E2 = 0$	E1 – S, E2 – R; T; A, $\overline{A}$	$E1$	$E2$	A
			0	0	A^*
			1	0	1
			0	1	0
			1	1	*
	Spezielle *RS*-Flipflops bei Aufhebung der Nebenbedingung: *S*-Flipflop dominierend speichernd ($A = 1$) bei $E1 = E2 = 1$ *R*-Flipflop dominierend löschend ($A = 0$) bei $E1 = E2 = 1$ *E*-Flipflop behält seinen bisherigen Zustand bei, falls $E1 = E2 = 1$				
JK-Flipflop	$A = (E1 \wedge \overline{A^*})$ $\vee (\overline{E2} \wedge A^*)$	E1 – J, E2 – K; T; A, $\overline{A}$	$E1$	$E2$	A
			0	0	A^*
			1	0	1
			0	1	0
			1	1	$\overline{A^*}$
D-Flipflop	$A = E^*$	E – D; T; A, $\overline{A}$	E^*	A	
			0	0	
			1	1	
T-Flipflop	$A = (E \wedge \overline{A^*})$ $\vee (\overline{E} \wedge A^*)$	E – T; T; A, $\overline{A}$	E	A	
			0	A^*	
			1	$\overline{A^*}$	

A^* vorheriges Ausgangssignal
E^* vorheriges Eingangssignal
A Ausgangssignal nach Abschluß der sequentiellen Verknüpfung, $A = A(E, A^*)$ bzw. $A = A(E^*)$
* Zustand nicht bestimmt, unzulässige Eingangsbelegung

Logische Speicherglieder

Nach TGL 16056 werden logische Speicherglieder wie international üblich als Flipflop bezeichnet. Technisch bedeutungsvolle Speicherglieder mit zwei Eingängen sind das *RS*- und das *JK*-Flipflop sowie mit einem Eingang das *D*- und das *T*-Flipflop, deren Merkmale in Tafel 2.2.5 aufgeführt sind. Das *JK*-Flipflop ist das universellste Speicherglied, aus dem jedes andere ableitbar ist. Das *D*-Flipflop muß immer getaktet betrieben werden. Es behält den von der Eingangsbelegung herrührenden Zustand während des gesamten Taktes bei. Das *T*-Flipflop arbeitet meist getaktet oder mit dynamischer Ansteuerung. Es wirkt als Binärteiler.

Die unterschiedlich bezeichneten Eingänge üben folgende Funktionen aus:

S, *J* Setzeingänge, führen zu $A = 1$
R, *K* Rücksetzeingänge, führen zu $A = 0$
D Informationseingang, führt zu $A = 1$ oder 0
T, *Z* Zähleingang

C Synchronisier- oder Takteingang
V Vorbereitungseingang.

Weitere Buchstaben sind mit Erklärung zulässig.

Speicherglieder mit zwei Eingängen gibt es für die Betriebsarten statisch, dynamisch, getaktet oder ungetaktet. Bedeutungsvoll sind weiterhin zweistufige Speicherglieder, die, ausgehend von ihrer Funktionsweise, „Master-Slave-Flipflop" genannt werden, Bild 2.2.3. Das erste Flipflop (Master) wird mit einem kurzem Taktimpuls aktiviert. Nach dessen Verschwinden wird die Information durch das zweite Flipflop (Slave) übernommen. Während der Taktpause ist das Flipflop nicht beeinflußbar (erhöhte Störsicherheit der Speicheranordnung).

Kombinierte Glieder

Kombinierte Glieder verwirklichen höherorganisierte Funktionen und enthalten sowohl Verknüpfungs- als auch Speicherglieder. Häufig benutzte kombinierte Glieder sind Zähler, Codierer und andere, für die zur Funktionsbezeichnung bereits ein oder zwei Buchstaben vorgesehen sind (*CT* bis *X*/*Y*). Die kombinierten Glieder benötigen zu ihrer Darstellung immer Nebenfelder.

Tafel 2.2.6. Elementare Zeitglieder

Bezeichnung des Gliedes	Schaltzeichen	Zeitdiagramm
Verzögerungsglied allgemein	t; E, A	E, A, t
Verzögerungsglied mit Einschaltverzögerung	t/0; E, A	E, A, t
Verzögerungsglied mit Ausschaltverzögerung	0/t; E, A	E, A, t
Verzögerungsglied mit Ein- und Ausschaltverzögerung	t_1/t_2; E, A	E, A, t_1, t_2
Monostabiles Glied (Univibrator)	t; S; E, A	E, A, t
Astabiles Glied (Generator)	t; G; A	A

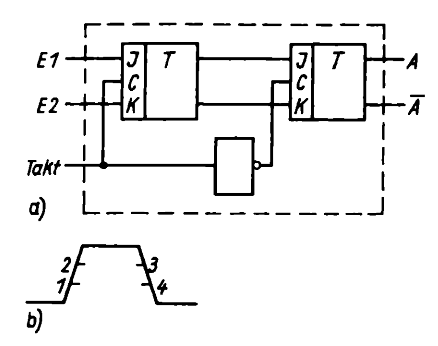


Bild 2.2.3. Master-Slave-Flipflop

a) Struktur; b) zeitlicher Verlauf der Schaltvorgänge in Abhängigkeit vom Taktimpuls
1 Trennen des Slave vom Master; *2* Eingabe der Eingangssignale in den Master; *3* Sperren des Masters; *4* Übernahme der Information durch den Slave und Übertragung an die Ausgänge

Zeitglieder

Zeitglieder sind Bestandteil fast aller Steuerungen (die Schaltzeichen s. Tafel 2.2.6).

2.2.2. Periphere Glieder

Als periphere Glieder sollen solche bezeichnet werden, die Hilfsfunktionen in der Steuerung ausüben. Dazu gehören

- Signalgeber
- Eingabe-/Ausgabeglieder
- Stellglieder
- Stromversorgungseinrichtungen
- Eingabe-/Ausgabegeräte der Rechentechnik.

Tafel 2.2.7 zeigt eine repräsentative Auswahl peripherer Glieder, die in Verbindung mit Steuerungen häufig benötigt werden. Hinzugefügt wurden einige Bauelemente, die Gliedern zugeordnet werden, um bestimmte Parameter zu modifizieren.

Für das umfangreiche Gebiet der Darstellung kontaktbehafteter Bauelemente, wie Schalter, Leistungskontakte, verzögernde Kontakte und Relais, gibt es eine Reihe von Regeln, deren praktikable Anwendung in einer Projektierungsvorschrift [2.40] übersichtlich zusammengestellt ist.

Tafel 2.2.7. Wichtige periphere Glieder

Benennung	Schaltzeichen
Öffner, Schließer	
Taster, rastend und nicht rastend	
Relaisspule, Schützspule allgemeine Darstellung	

Tafel 2.2.7 (1. Fortsetzung)

Benennung	Schaltzeichen
Wandler, Umformer An den mit *X* und *Y* markierten Stellen sind Kurzzeichen der anstehenden Größen einzutragen.	X Y
Trennelement	
Verstärker	
Stellantrieb allgemein, Motorantrieb, Antrieb für Ventil EIN/AUS	M
Netzgerät	~ =
Leuchte, Schauzeichen, Signalhorn	
Transistor, npn bzw. pnp	
Fotodiode, Lichtemitterdiode	
Optischer Koppler	
Diode, Lawinengleichrichter (Z-Diode)	
Thyristor, allg. Darstellung, anodenseitig und katodenseitig gesteuert	
Diac, Triac	
Bedienpult, Tastatur, Eingabe durch Bedienpult oder Tastatur	

Tafel 2.2.7 (2. Fortsetzung)

Benennung	Schaltzeichen
Bildschirmgerät, Bildschirmanzeige	
Drucker, Druckliste	
Lochbandleser, Lochbandstanzer, Lochband	
Magnetbandgerät, Magnetband	

2.2.3. Funktion von Steuerungen

Für die Darstellung der Funktion von Steuerungen gibt es eine Reihe von Methoden und Verfahren unterschiedlichen Abstraktionsgrades, die drei Gruppen zugeordnet werden:

Texte	verbale Beschreibungen
Formeln	Boolesche Gleichungen (Schaltgleichungen) [2.13] bis [2.21]
	Automatengleichungen [2.18] bis [2.24]
	logische Algorithmenschemata (LAS) [2.19], [2.28]
	Programmlisten, s. auch Abschnitt 6.3.2.
Tabellen	Schaltbelegungstabellen [2.13] bis [2.19]
	Automatentabellen [2.18], [2.19], [2.22]
	Entscheidungstabellen [2.43] bis [2.45]
grafische Darstellungen	Prozeßablaufpläne (PRAP), Funktionspläne
	Programmablaufpläne (PAP)
	Steuerungsablaufpläne (STAP)
	Automatengraphen
	Steuergraphen
	Logikpläne, Signalflußpläne
	Programmablaufgraphen (PAG)
	Petri-Netze

Für die Beschreibung von Prozeßsteuerungen haben sich grafische Darstellungen durchgesetzt, die in den Abschnitten 6.2.1 bis 6.2.5 ausführlich behandelt werden.

Neben den angeführten Beschreibungsformen gibt es weitere, insbesondere solche, die für kleinere Verknüpfungs- und Ablaufsteuerungen mit Relais und Schützen gut geeignet sind. Dazu gehören

- Funktionszyklogramme [2.46]
- Schaltfolgepläne, Wegdiagramme, Schaltfolgediagramme
- Wirkungspläne nach TGL 16084
- Verriegelungspläne nach TGL 16084.

Die Vielzahl der Beschreibungsformen resultiert aus verschiedenen pragmatischen und theoretischen Ansätzen. Für die praktische Nutzung ist mitunter entscheidend, welche Hilfestellung eine aufbereitete Theorie zu leisten vermag. So haben die klassischen Formen, die von den Schaltfunktionen und Automatengleichungen ausgehen, durch ihre grafische Interpretation erheblich an Transparenz gewonnen.

2.3. Anwendung der Mikroelektronik und Lichtwellenleitertechnik

Der hohe Wiederholgrad der Grundfunktionen und ihrer Kombinationen in Steuerungen kommt der Anwendung mikroelektronischer Bauelemente sehr entgegen. Digitale Schaltungen sind ein bevorzugtes Anwendungsgebiet für integrierte Schaltkreise (IS), die untrennbare Einheiten darstellen und wie ein diskretes Bauelement einsetzbar sind. Immer umfangreichere gerätetechnische Einheiten (s. a. Tafel 2.3.1) werden durch IS substituiert [2.47] bis [2.53].

Tafel 2.3.1. Gerätetechnische Begriffe (nach TGL 14591 und 22500/01)

Begriff	Erläuterung
Bauelement	kleinstes konstruktives Element, dessen Reparatur nicht durchgeführt werden kann oder soll
Baustein	konstruktive Zusammenfassung von Bauelementen zu einer kleinsten Einheit des Systems
Baugruppe	Gruppe konstruktiv zusammengefaßter Bausteine und gegebenenfalls zusätzlicher Bauelemente; Bausteine und Bauelemente müssen nicht sämtlich in einem funktionellen Zusammenhang stehen (z. B. bei Karteneinschüben in einem Baugruppensystem)
Funktionseinheit	Einheit zusammengefaßter Bausteine und Baugruppen mit einer abgeschlossenen Funktion, z. B. zur Signalgewinnung, Signalverarbeitung oder Stromversorgung (nicht zwangsläufig identisch mit einer Baueinheit)
Baueinheit	konstruktive Einheit zusammengefaßter Baugruppen, die nicht in einem funktionellen Zusammenhang zu stehen brauchen (z. B. Baugruppeneinschübe, Gestelle, Schränke)
Gerät	gegen äußere Einflüsse geschützte konstruktive Einheit, die eine oder mehrere Funktionseinheiten enthält und in deren Sinn eine bestimmte Funktion ausübt (z. B. Programmiergerät, Inbetriebsetzungsgerät)
Einrichtung	Zusammenfassung von Funktionseinheiten und Geräten für eine anwendungsbezogene Aufgabe, die die Wirkungskette von der Signalgewinnung bzw. -eingabe bis zur Signalnutzung bzw. -ausgabe vollständig oder in wesentlichen Teilen umfaßt (z. B. Störsignalisierungseinrichtung, Drehzahlkontrolleinrichtung)
Anlage	Zusammenfassung aller Geräte und Einrichtungen einschließlich der Installation und Peripherie

2.3.1. Integrierte Schaltkreistechnik

Für die Ausführung von IS haben sich die in Tafel 2.3.2 zusammengestellten Grundtechnologien bewährt. Den technischen Fortschritt bestimmen die Halbleiterblockschaltkreise. Die Dünnschicht- und Dickschichtschaltkreise sowie die Hybridschaltkreise sind ergänzende Alternativen, auf die dann zurückgegriffen wird, wenn Sonderforderungen, z. B. im peripheren Bereich, monolithisch nicht effektiv realisierbar sind [2.54] [2.55].

Tafel 2.3.2. Grundtechnologien für integrierte Schaltkreise (IS)

Technologie	Ausführung
Dünnschichttechnik	Schaltkreise mit passiven Bauelementefunktionen aus geeigneten Anordnungen meist aufgedampfter ebener dünner Schichten sowie mit heute noch eingesetzten aktiven Bauelementen auf einem Trägerplättchen (überwiegend Glas)
Dickschichttechnik	wie Dünnschichttechnik, Schichten jedoch im Siebdruckverfahren aufgebracht
Halbleiterblocktechnik (monolithische Technik)	Schaltkreis, konzentriert in einem Block aus Halbleitermaterial (meist Si), aufgebaut aus verschiedenen Dotierungszonen im Halbleiter
Hybridtechnik	Dünnschicht- oder Dickschichtanordnungen mit eingesetzten unverkappten Halbleiterblockkomponenten (Chips)

Bei monolithischen Schaltkreisen unterscheidet man drei Herstellungszyklen

Zyklus 0: Schaltkreisentwurf (Maskenherstellung)
Zyklus 1: Herstellungsprozeß im Scheibenverband (Scheibenprozeß)
Zyklus 2: Fertigstellung, ausgehend vom Einzelchip (Montage, Kontaktierung und Verkappung im Gehäuse, Endprüfung).

Die Mikroelektronik hat die Grenzen ihrer Möglichkeiten noch nicht erreicht (Tafel 2.3.3). Es wird erwartet, daß mindestens bis 1990 noch solche Fortschritte erzielbar sind, die eine generelle Ablösung durch andere Wirkprinzipien nicht herausfordern, wie z. B. die ausschließliche Anwendung von optoelektronischen, kryotechnischen und bionischen Prinzipien.

Auf der Basis bewährter Schaltkreistechniken hat sich international eine Standardisierung auf einige Schaltkreisfamilien vollzogen, die untereinander kompatibel sind. Für die Steuerungstechnik sind gegenwärtig von Bedeutung (Tafel 2.3.4):

- TTL (Transistor-Transistor-Logic)
- CMOS (Complementary Metal-Oxide Semiconductor)
- NMOS (Negative Channel-MOS)

Tafel 2.3.3. Integrationsgrade von Schaltkreisen

Integrationsgrad	Anzahl der Bauelementefunktionen	Anzahl der Grundfunktionen	Typische Schaltkreise
SSI (Small Scale Integration)	10 ... 50	1 ... 10	Gatter, Flipflop
MSI (Medium Scale Integration)	30 ... 300	6 ... 100	Kombinationsschaltungen, wie Zähler und Vergleicher, s. a. Tafel 3.1.2
LSI (Large Scale Integration)	300 ... 10000	100 ... 3000	Antriebsschaltkreis, Mikroprozessoren einschließlich zugehöriger Speicher und Peripherieschaltkreise
VLSI (Very Large Scale Integration)	>3000	>3000	Großspeicher, komplette Mikrorechneranordnungen, auch unter Einbeziehung von Analogkomponenten

— PMOS (Positive Channel-MOS)
— ECL (Emitter-Coupled Transistor-Logic)
— I^2L (Integrated Injection-Logic).

Vorzugsweise wird gegenwärtig die TTL- und CMOS-Technik für die Integrationsgrade SSI und MSI und die NMOS-Technik für LSI und VLSI eingesetzt. Wegen der geringen Verlustleistung geht auch bei LSI und VLSI der Trend zu CMOS.

Tafel 2.3.4. Parameter von aktuellen Standard-Schaltkreistechniken

Schaltkreis-technik	Version	Gatterbezogene Durchschnittswerte			Betriebs-spannung	Verwendung
		Verzögerungszeit ns	Verlustleistung mW	Produkt ns · mW pJ	V**)	
TTL	Schottky (S)	3	20	60	5	klassische Schaltkreise der Digitaltechnik, Standardversion mit rd. 300 Typen von SSI- und MSI-IS
	High-Speed (H)	6	23	140		
	Low-Power-Schottky (LS)	10	2	20		
	Standard (—)	10	10	100		
	Low-Power (L)	35	1	35		
CMOS		20	0,01*)	0,2*)	3 ... 15	störsichere und leistungsarme IS, Pin-kompatibel zu TTL-IS
NMOS		100	3	300	5	produktionsbestimmende Technologie für LSI- und VLSI-IS, pegelkompatibel zu TTL
PMOS		300	5	1500	−15 ... −30	klassische Technologie für LSI-IS, wird durch NMOS abgelöst
ECL		2	25	50	−5,2	schnellste Schaltkreistechnik
I^2L		50	0,002	0,01	1,5	extrem leistungsarme Schaltungen, z. B. für Digitaluhren

*) Statische Verlustleistung
**) Polarität bezogen auf TTL-Schaltkreise

Die Mikroelektronik bringt neben der Einsparung der schaltungstechnischen Entwurfsarbeit für den Anwender folgende Vorteile:

— höhere Zuverlässigkeit durch den Fortfall von elektrisch unsicheren Lötverbindungen
— verkleinerte Abmessungen der mit integrierten Schaltkreisen aufgebauten Geräte und Anlagen
— Verringerung des Energieverbrauchs
— ständige Senkung der Herstellungskosten mit zunehmender Beherrschung der Technologie.

2.3.2. Programmierbare Logikschaltkreise

Programmierbare Schaltkreise enthalten eine große Anzahl von vorgefertigten Schaltungsanordnungen (engl. array) auf einem Chip, die erst im letzten Bearbeitungsschritt mit mikroelektronischen Verfahren verbunden werden [2.56] bis [2.59]. Dazu sind folgende Technologien in Gebrauch:

— Maskenprogrammierung
— Ausbrennprogrammierung
— Durchbruchprogrammierung

(s. Tafel 2.3.5). Die Funktion des Schaltkreises liegt somit erst nach Abschluß der Programmierung fest.

Tafel 2.3.5. Technologien für die Programmierung von Schaltkreisen

Technologie	Erläuterung
Maskenprogrammierung	Als letzter strukturbestimmender Arbeitsgang wird vom IS-Hersteller im Zyklus 1 die letzte Metallisierungsschicht nach Kundenwunsch aufgebracht, die dann bereits integriert vorhandene Grundschaltungen zur gewünschten komplexen Schaltung verbindet (Aufbau von Verbindungen).
Ausbrennprogrammierung	Aus einem Verbund von Grundschaltungen im IS werden unerwünschte Verbindungen durch definierte Stromimpulse aufgetrennt, „ausgebrannt". Die Programmierung ist irreversibel. Sie kann vom Anwender mit geeigneten Geräten selbst durchgeführt werden (Abbau von Verbindungen).
Durchbruch-programmierung	Im IS sind die zu verbindenden Grundschaltungen zunächst voneinander isoliert angeordnet. Beim Anlegen einer genügend hohen Spannung wandern Ladungsträger in die sonst trennende Sperrschicht und stellen eine bleibende elektrische Verbindung her. Die Verbindungen sind durch Bestrahlung mit UV-Licht durch ein Quarzglasfenster global oder bei elektrisch löschbaren bitweise löschbar und sind danach erneut programmierbar (Aufbau von Verbindungen, vom Anwender mit Programmiergeräten selbst durchführbar).

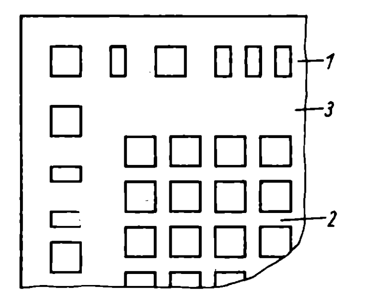


Bild 2.3.1
Zur Gestaltung von programmierbaren Logikanordnungen
1 Zeile bzw. Spalte mit Eingabe-/Ausgabezellen
2 Matrix mit Gatterzellen
3 Flächen zur Verbindung der Zellen

International ist es zur Herausbildung einer Vielzahl teilweise firmenspezifischer Lösungen gekommen, die zwei Gruppen zuordenbar sind (Tafel 2.3.6):

— programmierbare Speicher
— programmierbare Logikanordnungen.

Die Erstgenannten finden überwiegend als Programm- und Tabellenspeicher in Mikrorechnern Verwendung, sind aber auch als programmierbare Zuordner einsetzbar.

Tafel 2.3.6. Klassifizierung programmierbarer Schaltkreise

Gruppe	Internationale Bezeichnung		Programmierung	Hauptanwendung
Programmierbare Speicher	ROM	Read Only Memory	vom Hersteller maskenprogrammiert	Programm- und Tabellenspeicher in Mikrorechnern
	PROM	Programmable ROM	vom Anwender ausbrennprogrammierbar	
	EPROM	Erasable PROM	vom Anwender elektrisch programmierbar und mit UV-Licht löschbar	
	EEROM	Electrically Erasable ROM	wie EPROM, jedoch elektrisch löschbar	
	EAROM	Electrically Alternable ROM	wie EPROM, jedoch elektrisch bitweise löschbar	
Programmierbare Logikanordnungen	PAL	Programmable Array Logic	maskenprogrammiert bzw. ausbrennprogrammierbar, ohne oder mit eingeschränkter Realisierungsmöglichkeit für Rückführungen auf dem Chip	kombinatorische Schaltungen
	HAL	Hard Array Logic		
	FPGA	Field Programmable Gate Array		
	ULM	Universal Logic Modul		
	PLA	Programmable Logic Array	maskenprogrammiert bzw. ausbrennprogrammierbar mit Rückführungen auf dem Chip	sequentielle Schaltungen
	FPLA	Field Programmable Logic Array		
	FPLS	Field Programmable Logic Sequencer		
	ULA	Uncommitted Logic Array	Vom Hersteller maskenprogrammierte Schaltkreise, die neben kombinatorischen und sequentiellen auch analoge Schaltungskomplexe enthalten	Schaltungen mit digitalen und analogen Komponenten, wie Analog-Digital-Umsetzer, Komparatoren, Leitungstreiber
	ISL	Integrated Schottky Logic		
	ISA	Integrierte Schaltungsanordnungen		

Tafel 2.3.7. Komplexität von Halbleiteranordnungen

Halbleiteranordnung	Eingesetzte Schaltungskomplexe	Bemerkungen
Einfache Zellen	NAND- und NOR-Gatter, einfache Speicher	
Komplexe Zellen	komfortable Speicher, Kombinationsschaltungen	Parametereinstellung möglich, z. B. Veränderung der Verzögerungszeit
Makro- bzw. Masterzellen	TTL-Schaltungen der Integrationsgrade SSI und MSI	zur Substitution von Baugruppen mit Standard-IS
Spezielle Zellen	analoge und digitale Schaltungskomplexe	gemischte Anwendung von analogen und digitalen Komponenten

Die Schaltkreise der zweiten Gruppe wurden speziell für die Realisierung steuerungstechnischer Aufgaben konzipiert. Diese IS verfügen meist über in Matrixform angeordnete Gatter (NAND- bzw. NOR-Grundschaltungen), die bei höherorganisierten IS durch komplexe und periphere Schaltungsanordnungen ergänzt werden, Bild 2.3.1.

Auf einem Chip können mehrere Tausend solcher Gatterfunktionen ausgeführt werden, jedoch ist deren Nutzung durch die notwendige Entflechtung der Verbindungen im Schaltkreis begrenzt, insbesondere bei sequentiellen Steuerungsfunktionen. Zur Erweiterung der Verflechtungsmöglichkeiten ist es üblich, Kontaktbrücken in den Chip einzulassen, um Kreuzungen ohne Zuhilfenahme weiterer Ebenen ausführen zu können.

Beim Entwurf programmierbarer Schaltkreise wird auf bewährte Halbleiteranordnungen zurückgegriffen. Diese „Zellen" repräsentieren Schaltungen verschiedenen Umfangs (Tafel 2.3.7). Bei den Makro- bzw. Masterzellen erreicht die Komplexität der Schaltung die von TTL-IS. Bisher mit Standard-Schaltkreisen bestückte Baugruppen auf gedruckten Leiterplatten sind somit komplett auf einem Chip ausführbar. Damit ist ein Weg gegeben, der den direkten Übergang von einer mit Standard-IS erprobten Schaltung in einem anwendungsspezifischen LSI-Schaltkreis gestattet. Die den Zyklen der IS-Herstellung entsprechenden Arbeitsgänge zur Ausführung maskenprogrammierter Schaltkreise zeigt Bild 2.3.2. Ähnlichkeiten zum Entwurfsprozeß für Leiterplatten sind unverkennbar. Eine Hilfe stellen „Zellen"-Bibliotheken dar, aus denen erprobte

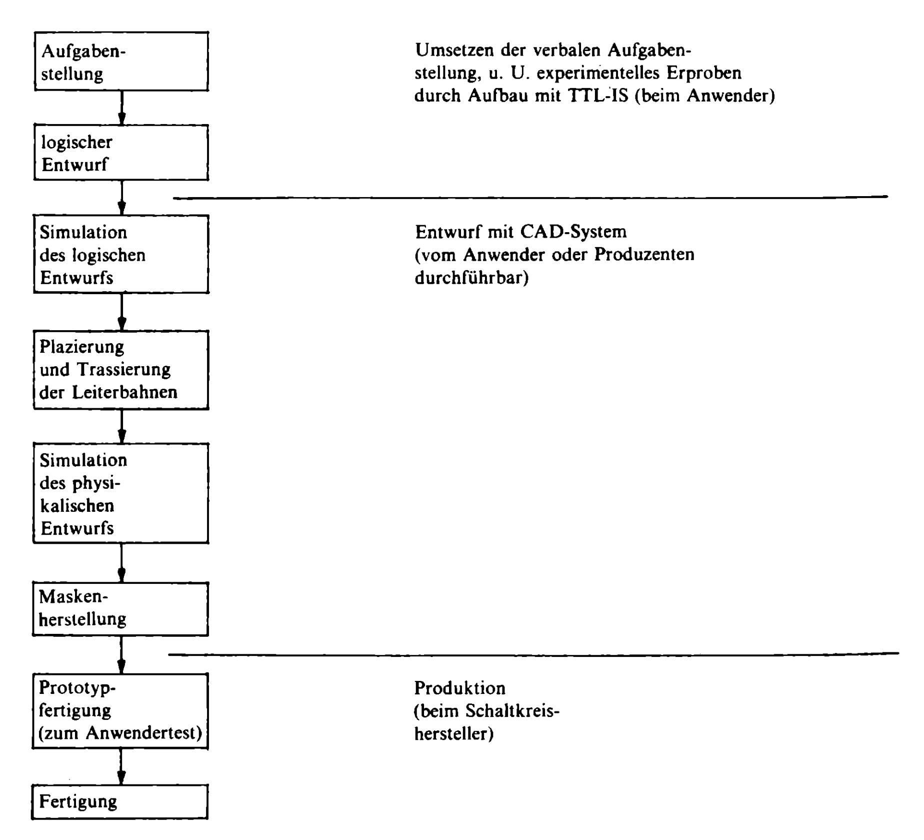


Bild 2.3.2. Realisierungsphasen programmierbarer Logikanordnungen

Tafel 2.3.8. Eingabe-/Ausgabekomponenten für programmierbare Logikanordnungen

Leistungsverstärker
Schmitt-Trigger
Entprellschaltungen (für direkte Kontaktansteuerung)
Pegelanpassung (von TTL, CMOS, ECL u. a.)
Puffer (Zwischenspeicher zum Ausgleich der Arbeitsgeschwindigkeiten Eingabe/Ausgabe und Verarbeitung)
Ausgang mit offenem Kollektor (open-collector; für Montage-UND und -ODER)
Pegelumsetzer (auf TTL, CMOS, ECL u. a.)
Busankopplung mit Drei-Zustands-Ausgängen (tri-state: 0, 1 und hochohmig, d. h. nicht angeschlossen)
Treiberstufen, auch bidirektional
Kleinleistungsverstärker

und standardisierte Layout-Entwürfe entnommen werden können. Dazu gehören auch Entwürfe für die Gestaltung der Signaleingabe und -ausgabe, Tafel 2.3.8.

Mit diesen Komponenten und gegebenenfalls mit den in Tafel 2.3.7 zuletzt aufgeführten Analogkomponenten sind abgeschlossene Lösungen für kleinere Steuerungsaufgaben durch einen einzigen IS möglich.

Für die unter dem Sammelbegriff „programmierbare Logikanordnungen“ zusammengefaßten IS sind prinzipiell alle üblichen Schaltkreisgehäuse einsetzbar. Vorteilhaft können Gehäuse mit Anschlüssen auf allen Seiten sein, um alle erforderlichen Ein- und Ausgänge unterzubringen, deren Anzahl mit wachsendem Funktionsinhalt gewöhnlich steigt. Die durch die Anschlüsse bedingte technologische Grenze liegt bei 5000 ... 10000 Gatterfunktionen je IS. Bild 2.3.3 zeigt diese Abhängigkeit im Ergebnis einer Analyse verschiedener programmierbarer Schaltkreise für Logikanwendungen. Der praktisch mögliche Nutzungsgrad der verfügbaren Gatter liegt bei 75 ... 95%. Dieser Wert resultiert einmal aus der technologisch bedingten Stufung der Gatteranzahl je Chip und zum anderen aus Grenzen bei der Verflechtung.

Programmierbare Logikanordnungen verbinden die Vorteile von Standard-IS mit denen von Kundenwunsch-IS. Es kann auf vorkonfektionierte Schaltkreise zurückgegriffen werden, die mit relativ geringem Aufwand an das spezielle Problem anpaßbar sind. Sie werden deshalb auch als

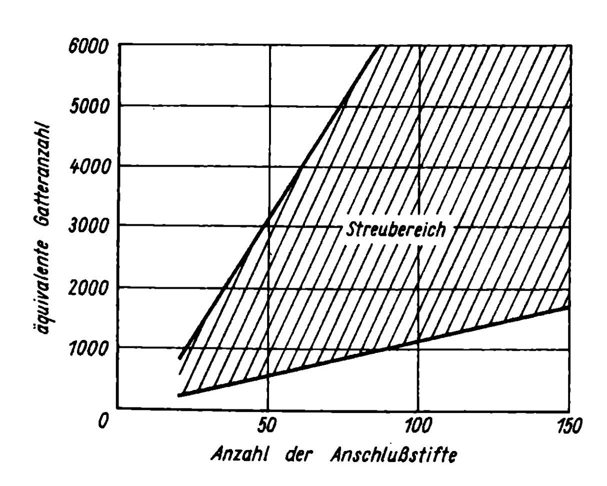


Bild 2.3.3
Gatteranzahl in Abhängigkeit von der Pin-Anzahl

Semi-Kundenwunsch-Schaltkreise bezeichnet. Als Vorzüge im Vergleich zu Einzweck-Kundenwunschschaltkreisen sind zu sehen:
- kurze Entwicklungszeiten
- keine Kontrolle und Simulation der physikalischen Entwürfe notwendig und
- wirtschaftlich auch für relativ kleine Stückzahlen lohnend.

Die Anwendung wird immer dann erfolgen, wenn
- eine hohe Zuverlässigkeit erforderlich ist
- Platz gespart werden muß
- die Leiterplatten und übergeordnete Verdrahtungsebenen einfacher werden sollen und
- eine Kosteneinsparung unter Einbeziehung der Prüfung, Inbetriebnahme und Wartung eintreten kann.

Der breite Einsatz von programmierbaren Logikanordnungen bei Prozeßsteuerungen ist auch davon abhängig, ob es gelingt, eine Konzentration auf wenige Typen vorzunehmen, die programmiert alle Systemanforderungen abdecken.

2.3.3. Mikrorechneranordnungen

Spezielle LSI-IS sind für Prozeßsteuerungen ökonomisch problematisch. Steigender Integrationsgrad bei Kundenwunschschaltkreisen bedeutet
- höhere Aufwendungen (Zeit und Kosten) für die Entwicklung, Fertigung und Prüfung
- abnehmende Stückzahlen durch zunehmende Spezialisierung.

Damit ist eine technisch-ökonomische Grenze gegeben, die sich allerdings mit den Fortschritten der Halbleitertechnologie ständig zu höheren Integrationsgraden verschiebt.

Eine weitere Alternative neben programmierbaren Schaltkreisen stellen Mikrorechneranordnungen dar, für die charakteristisch ist, daß die Steuerungsalgorithmen zentral in einem Schaltkreis, dem Mikroprozessor, abgearbeitet werden [2.60] bis [2.70]. Eine parallele Signalverarbeitung ist nur im Rahmen der festgelegten Wortbreite möglich, die meist 8 bit = 1 byte oder 16 bit = 2 byte beträgt, d. h. 8 oder 16 Binärstellen umfaßt. Dadurch ergeben sich im zeitlichen Verhalten Nachteile zu Steuerungen mit Schaltkreisen fester Struktur. Der Vorzug des Mikrorechners besteht in seiner flexiblen Programmierbarkeit, die eine Anpassung an wechselnde Aufgabenstellungen gestattet.

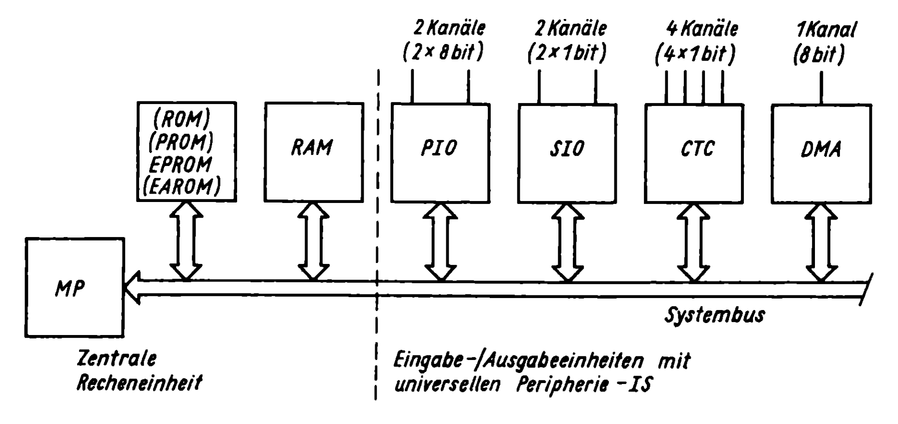


Bild 2.3.4. Mikrorechner mit LSI-IS (System U 880)

Die Funktion des Mikrorechners wird durch wenige LSI-Schaltkreise bestimmt, Bild 2.3.4. Kernstück ist der Mikroprozessor (MP). Er beinhaltet als zentrale Verarbeitungseinheit (ZVE, engl. CPU Central Processing Unit) das eigentliche Rechenwerk, Register zur Zwischenspeicherung und Steuereinheiten. Der MP führt logische, arithmetische und Transportoperationen nach einem von außen vorgegebenen Programm aus, das aus einer Befehlsfolge zusammengesetzt, in einem Festwertspeicher (meist EPROM) enthalten ist. Die zu verknüpfenden logischen Variablen (Daten) befinden sich im Operativspeicher (RAM Random Access Memory). MP, EPROM und RAM bilden zusammen die zentrale Recheneinheit (ZRE), die über Peripherie-Schaltkreise die Signaleingabe und -ausgabe vornimmt. Universelle Peripherie-IS sind:

- PIO (Parallel Input Output)
  zur parallelen Ein-/Ausgabe meist in der Bit-Anzahl, die für den MP charakteristisch ist
- SIO (Serial Input Output)
  zur seriellen, bitweisen Ein-/Ausgabe
- CTC (Counter Timer Circuit)
  zur Verzögerung von Signalen (Betrieb als Impulszähler) oder zur Untersetzung des Systemtaktes (Betrieb als Zeitgeber)
- DMA (Direct Memory Access)
  zur direkten Ein-/Ausgabe von Daten in den Operativspeicher ohne Einbeziehung des MP.

Tafel 2.3.9. Mikrorechnersysteme für Prozeßsteuerungen

System-umfang	Eingesetzte MP-Typen	Merkmale
Klein	1-Chip-MR, wie U 881, U 882, 8048, 8051, Z 8, MC 6802	1-Chip-MR (EMR) bestehen aus einem IS, der neben der ZVE auch Speicher- und E/A-IS enthält, so daß kleinere Steuerungsaufgaben ohne Zuhilfenahme weiterer LSI-IS lösbar sind
Mittel	8-Bit-MP, wie U 880, KR 580 I 80A, 8080, Z 80, MC 6800	Standard-Mikrorechnersysteme (MRS), meist mit getrennten Baugruppen für – Zentrale Recheneinheiten Operativ- und Festwertspeicher – Anschlußsteuerungen für die Eingabe/Ausgabe und für externe Speicher (Digital-E/A, Tastatur, Bildschirmgerät, Kassettenmagnetbandgerät u. a.) – Anschlußsteuerungen für Standardinterface (s. Tafel 3.1.9) Variante: Einkartenrechner (engl. Single Board Computer, funktionell wie EMR)
Groß	16-Bit-MP, wie 8086, Z 8000, MC 68000, K 1801 WM 1, K 1810 WM 86	komfortable MRS, Baugruppen ähnlich wie bei 8-Bit-MRS aufgeteilt, jedoch mit – verbessertem Echtzeitverhalten (Verdopplung der Binärstellen zur parallelen E/A, leistungsfähigere Befehle, kürzere Interrupt-Reaktionszeiten) – größerem direkt adressierbarem Speicherbereich (umfangreichere Programme mit Sicherheitstestroutinen möglich, Nutzung höherer Programmiersprachen) – vorbereiteter Mehrprozessorbetrieb (zum Aufbau komplexer Systeme)

Für den Anschluß von Geräten der Rechentechnik, wie Tastaturen, Bildschirmgeräte und externe Massenspeicher, sowie für die Verbindung des Mikrorechners mit anderen Systemkomponenten (s. a. Tafel 3.1.9) gibt es meist spezielle Schaltkreise. Der Signalfluß erfolgt über mehrbahnige Sammelleitungen, in ihrer Gesamtheit als Bus bezeichnet, die in drei Leitungsbündel aufgeteilt sind für

— Adressen
— Daten und
— Steuerbefehle.

Mit den Adressen werden Speicherzellen aufgerufen, die Programmschritte oder Daten enthalten bzw. die Ein-/Ausgänge bestimmen, über die ein Signalaustausch erfolgen soll. Auf den Datenleitungen werden logische Variable und Programmbefehle zwischen den angeschlossenen Schaltkreisen ausgetauscht. Die Steuerbefehle dienen zur Synchronisation der Schaltkreise untereinander.

Die Einordnung von Mikrorechnern in Steuereinrichtungen ist in den Abschnitten 4.3.1. bis 4.3.3. näher beschrieben. Aussagen zur Software sind im Abschnitt 6.3.2. enthalten. Für Prozeßsteuerungen sind neben eigens dafür entwickelten Geräten (s. Abschn. 4.3.) auch universelle Formen von Mikrorechnersystemen in Gebrauch, Tafel 2.3.9. Die Systeme werden meist von spezialisierten Herstellern angeboten (engl. OEM — Original Equipment Manufacturer). Der Hersteller liefert ein Sortiment paßfähiger Baugruppen, ein mechanisches Aufbausystem und Systemunterlagen für die Programmierung.

2.3.4. Lichtwellenleitertechnik

Zur optischen Informationsübertragung können vorteilhaft Kabel mit einem Glasfaserkern geringen Durchmessers (1 ... 200 μm) verwendet werden. Der Kern hat eine höhere optische Brechzahl als das umhüllende Medium, so daß eingekoppelte Lichtsignale an der Grenzfläche Kern — Mantel total reflektiert und nahezu verlustlos durch die Faser geleitet werden [2.71] bis [2.83].

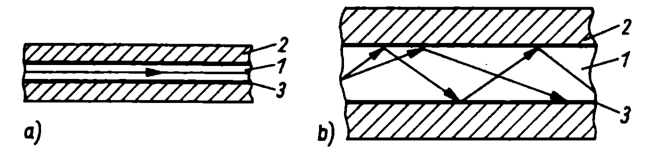


Bild 2.3.5. Lichtwellenleitung durch Glasfasern (Längsschnitt)

a) Monomodenfaser; b) Multimodenfaser
1 Kernglas; *2* Mantelglas; *3* Grenzschicht

Bei den *Monomodenfasern*, Bild 2.3.5a, ist der Faserdurchmesser so gering gehalten (1 ... 3 μm), daß er in der Größenordnung des für die Lichtwellenleitertechnik (LWL-Technik) günstigen Infrarotbereichs (um 0,85 μm) liegt. Es breitet sich nur eine Wellenform (Mode) aus. Die Dämpfung beträgt ca. 2 dB/km.

Bei den *Multimodenfasern*, Bild 2.3.5b, findet aufgrund des größeren Faserdurchmessers (bis zu 200 μm) die Ausbreitung mehrerer Moden statt, deren unterschiedliche Laufzeiten bei größeren Faserlängen zu Signalverzerrungen führen. Die Dämpfung dieser technologisch einfacheren Fasern liegt bei 5 ... 30 dB/km.

Gradientenfasern sind spezielle Multimodenfasern, bei denen die Brechzahl stetig vom Kern zum Mantel ansteigt, was zu einem Ausgleich der Modenlaufzeiten und zur Reduzierung der Verzerrungen führt.

Neben der volkswirtschaftlich bedeutungsvollen Kupfersubstitution werden bei Prozeßsteuerungen folgende technische Vorzüge der LWL-Technik wirksam:

— Unempfindlichkeit gegen elektromagnetische Störungen
— galvanische Trennung zwischen Sender und Empfänger
— keine Explosionsgefährdung
— große Bandbreite, d. h. hohe Impulsraten je Zeiteinheit übertragbar (mehrere 100 Mbit/s).

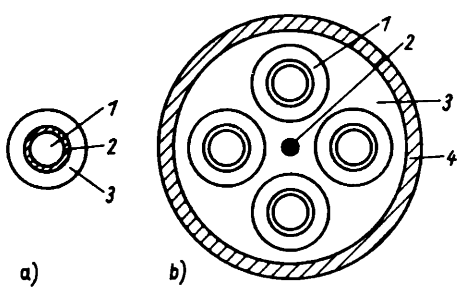


Bild 2.3.6
Querschnitte von LWL-Kabeln (vereinfacht)
a) LWL-Ader
1 Glasfaser mit Lackschutzmantel; *2* Pufferschicht, z. B. aus Silikonkautschuk; *3* Kunststoffumhüllung
b) Kabel
1 LWL-Ader nach a); *2* Stahlader zur Zugentlastung; *3* Füllmasse; *4* Kunststoffmantel

LWL-Kabel (Bild 2.3.6) können wie normale Kabel verlegt werden. Die zulässigen Biegeradien betragen einige Zentimeter. Damit steht ein physikalisch ideales Übertragungsmedium für die Ein- und Ausgabe von Signalen in Prozeßsteuerungen zur Verfügung. Am LWL muß allerdings eingangs- und ausgangsseitig eine elektrooptische bzw. optoelektrische Signalwandlung vorgenommen werden. Für die sog. Kurz- und Mittelstreckenübertragung (bis zu einigen Kilometern) genügen

— LWL mit technologisch besser zu handhabenden größeren Faserdurchmessern (50 ... 200 μm), Multimodenbetrieb
— Lumineszenzdioden als Sender
— Halbleiterfotodioden als Empfänger (Bild 2.3.7).

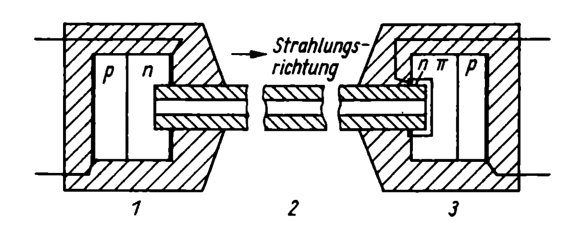


Bild 2.3.7
Schematische Darstellung der physikalischen Grundkomponenten zur Ein- und Auskopplung von Lichtwellen
1 GaAlAs-Lumineszenzdiode
2 LWL, in *1* und *3* eingeklebt
3 Si-Fotodiode mit PIN-Übergang (I ≙ π: eigenleitende Zwischenschicht)

Die konstruktive Ausführung der Sender und Empfänger wird an die Form integrierter Schaltkreise angepaßt, um die für Leiterplatten üblichen Löt- und Bestückungstechnologien nutzen zu können.

Für den Einsatz bei Prozeßsteuerungen wird auf Modulationsverfahren und auf optische Zwischenverstärker verzichtet. Die Informationen werden unter Nutzung der großen Bandbreite des LWL bitweise seriell übertragen. Da die Informationen beim Mikrorechnereinsatz wortweise organisiert sind, ist vor der Einkopplung in den Lichtleiter eine Parallel-Serien-Umsetzung (und bei der Auskopplung umgekehrt) sowie eine entsprechende Synchronisierung und für den LWL günstige Codierung [2.74] notwendig. Es ist deshalb üblich, auf eingeführte Normative und Übertragungsprotokolle (Standardinterfaces, s. auch Abschn. 3.1.3.) zurückzugreifen. Beim Entwurf von Prozeßsteuerungen spielt es dann zunächst keine Rolle, ob eine elektrische oder optische Signalübertragung verwendet wird.

Zum Aufbau von Mehrpunktverbindungen sind Verzweiger, sog. Mehrtorkoppler und Sternkoppler, erforderlich. Sie bewirken eine Verteilung des Lichts auf mehrere Empfänger. Solche Anordnungen werden u. a. bei optischen Bussystemen eingesetzt. Technisch wird die Kopplung durch einen gemeinsamen optischen Bereich erzielt, z. B. durch Zusammenschmelzen der Glasfasern oder das Einbringen teilweise verspiegelter Flächen in den Strahlengang.

Besondere Präzision erfordert die Verbindungstechnik. Sowohl beim unlösbaren Verbinden von zwei Glasfasern, dem Spleißen, als auch beim lösbaren mit Steckverbindern müssen die Faserenden stumpf aneinanderstoßen und sich voll decken. Bereits im µm-Bereich führen Achsversatz, Kippung und Abstand zu großen Intensitätsverlusten. Im Bild 2.3.8 werden für die Gestaltung der Verbindungstechnik zwei Beispiele gezeigt. Für das Spleißen haben sich auch Schweißtechnologien bewährt.

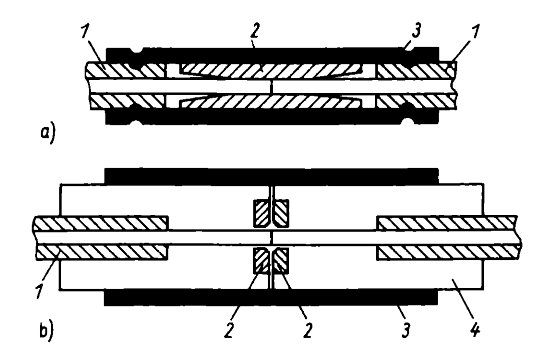


Bild 2.3.8
Verbindungsprinzipien für LWL (Schnittdarstellung)
a) feste Verbindung
1 LWL-Ader; *2* Kapillare (auf LWL aufgeschmolzen oder geklebt); *3* Metallhülse (auf LWL-Ader festgedrückt)
b) lösbare Verbindung
1 LWL-Ader; *2* Lagersteine zur Zentrierung; *3* Steckerhülse (auf *4* schraub- oder steckbar); *4* Kupplungshülse

Von den Geräteherstellern werden meist komplette LWL-Übertragungssysteme angeboten, die Komponenten der Verbindungstechnik einschließen. Für die noch verbleibenden Arbeitsgänge im Anlagenbau, wie das Spleißen und das Anbringen von lösbaren Verbindungen, werden robuste Werkzeuge bereitgestellt, die nach entsprechender Einweisung der Monteure auch unter Baustellenbedingungen problemlos handhabbar sind. Für die technische Vorbereitung des Einsatzes von LWL-Übertragungssystemen gibt es Projektierungsvorschriften [2.75].

Die wesentlich preiswerteren LWL-Kabel mit Kunststoff-Faserkern anstelle eines Glasfaserkerns weisen hohe Dämpfungswerte aus (um 350 dB/km), die eine Anwendung auf Strecken von <50 m beschränken. An der Ausweitung der Übertragungsstrecken wird gearbeitet [2.76], so daß Plast-LWL eine technisch-ökonomische Alternative für die Kurzstreckenübertragung darstellen. Ein weiteres Anwendungsgebiet für Plast-LWL sind Anzeigeeinrichtungen, bei denen aus konstruktiven Gründen eine Umleitung des Lichts zweckmäßig ist, z. B. bei Leuchtschaltbildern [2.71].

Die Weiterentwicklung der LWL-Technik hat neben der Verbesserung der technischen und ökonomischen Parameter aller Komponenten vor allem die Bereitstellung optischer Signalgeber (Sensoren) zum Ziel. Bereits seit längerem sind offene Koppler, wie Reflexkoppler und Gabelkoppler (Bild 2.3.9), bekannt [2.71].

Günstiger sind geschlossene LWL-Anordnungen, bei denen durch interne Veränderung der Transmission, Reflexion oder der Absorption eine Steuerbarkeit des Lichtstroms erreicht wird

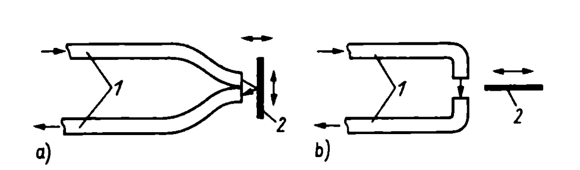


Bild 2.3.9
Beispiele für offene Koppler
a) Reflexkoppler
1 LWL; *2* bewegliche Reflexionsstelle
b) Gabelkoppler
1 LWL; *2* bewegliches Schaltstück

[2.78]. Ein Prinzip besteht darin, die vollständige Reflexion an der Grenzfläche aufzuheben [2.77]. Bei den Optron genannten LWL-Elementen ist der Glasfaserkern flach gehalten. Wird ein Objekt in der Nähe der LWL-Oberfläche verschoben, so ändert sich die Brechzahl des äußeren Mediums, und der Lichtstrom im LWL wird beeinflußt. Damit sind kontaktlose Tasten und Endschalter, aber auch andere Wandlerprinzipien realisierbar.

LWL sind direkt an Fototriacs und -thyristoren heranführbar, so daß sich Leistungsschalter mit optischem Eingang ausführen lassen.

Hervorstechende Merkmale optischer Sensoren und Aktoren sind die eingangs aufgeführten allgemeinen Vorzüge der LWL-Technik, wie Störungsunempfindlichkeit, galvanische Trennung, nicht explosionsgefährdet und hohe Arbeitsgeschwindigkeit [2.82] [2.83].

Eine andere Tendenz der Weiterentwicklung betrifft die multiplexe Nutzung des LWL für unterschiedliche Wellenlängen. Unter Berücksichtigung der großen Bandbreite ist damit ein Mehrkanalbetrieb, z. B. zur Erhöhung der Sicherheit, durchführbar.

3. Systemgestaltung

3.1. Struktureller Aufbau

Jedes System besteht aus einer Menge von Elementen (den Gliedern) und der Struktur, die durch Kopplungen zwischen den Elementen des Systems gebildet wird. Zur Umwelt des Systems sind Schnittstellen vorhanden: die Ein- und Ausgänge des Systems, s. a. [3.1] bis [3.6]. Systemtechnische Betrachtungen sind eine notwendige Voraussetzung zur Verallgemeinerung von Einzellösungen und ihre Aufbereitung für die multivalente Nutzbarkeit. Dadurch können höhere technische und ökonomische Zielstellungen erreicht werden [3.7] bis [3.18].

Jede Struktureinteilung ist relativ, d. h., sie kann fein oder grob sein, elementare oder komplexe Funktionen umfassen und nach verschiedenen Prinzipien durchgeführt werden. Im folgenden wird eine strukturelle Gliederung nach dem Signalfluß, nach Hierarchieebenen und nach vorgegebenen Grundstrukturen vorgenommen.

3.1.1. Signalfluß in Prozeßsteuerungen

Das System „Prozeßsteuerung" realisiert seine Aufgaben entsprechend dem Informationsfluß von der Gewinnung bis zur Nutzung gemäß dem im Bild 3.1.1 fixierten Schema und besteht aus den zur Durchführung dieser Aufgaben erforderlichen Gliedern (Tafel 3.1.1) einschließlich notwendiger Hilfseinrichtungen, wie der Energieversorgung.

Tafel 3.1.1. Typische Glieder im Informationsfluß von Prozeßsteuerungen

Informations-Gewinnung	Übertragung	Eingabe	Verarbeitung	Ausgabe	Nutzung
Endschalter	Leitungstreiber und -empfänger	Entprellschaltungen	Verknüpfungs-, Speicher- und Zeitglieder	Schaltverstärker mit Relais, Transistoren, Triacs oder Thyristoren	Relais
Taster	Buskoppler	Integrierglieder			Schütze
Steuerschalter	Adressencode-umsetzer	Abschwächer	Kombinationsglieder, wie Zähler, Schieberegister, Vergleicher, Kodeumsetzer, Addierer, Antriebssteuerungen		Schaltanlagen
Sensoren		Verstärker			Signalanzeigen
Grenzwertgeber	Auswahlschaltungen	Potentialtrenner			Ziffernanzeigen
Anschlußglieder für die übergeordnete Steuerung	Parallel-Serien-Umsetzer	Signalumformer			Registriergeräte
	Serien-Parallel-Umsetzer		Automaten zur logischen und arithmetischen Informationsverarbeitung*)		Anschlußglieder für die übergeordnete Steuerung
	Leitungen				leistungselektronische Glieder

*) zentrale Verarbeitungseinheiten von speicherprogrammierbaren Steuerungen

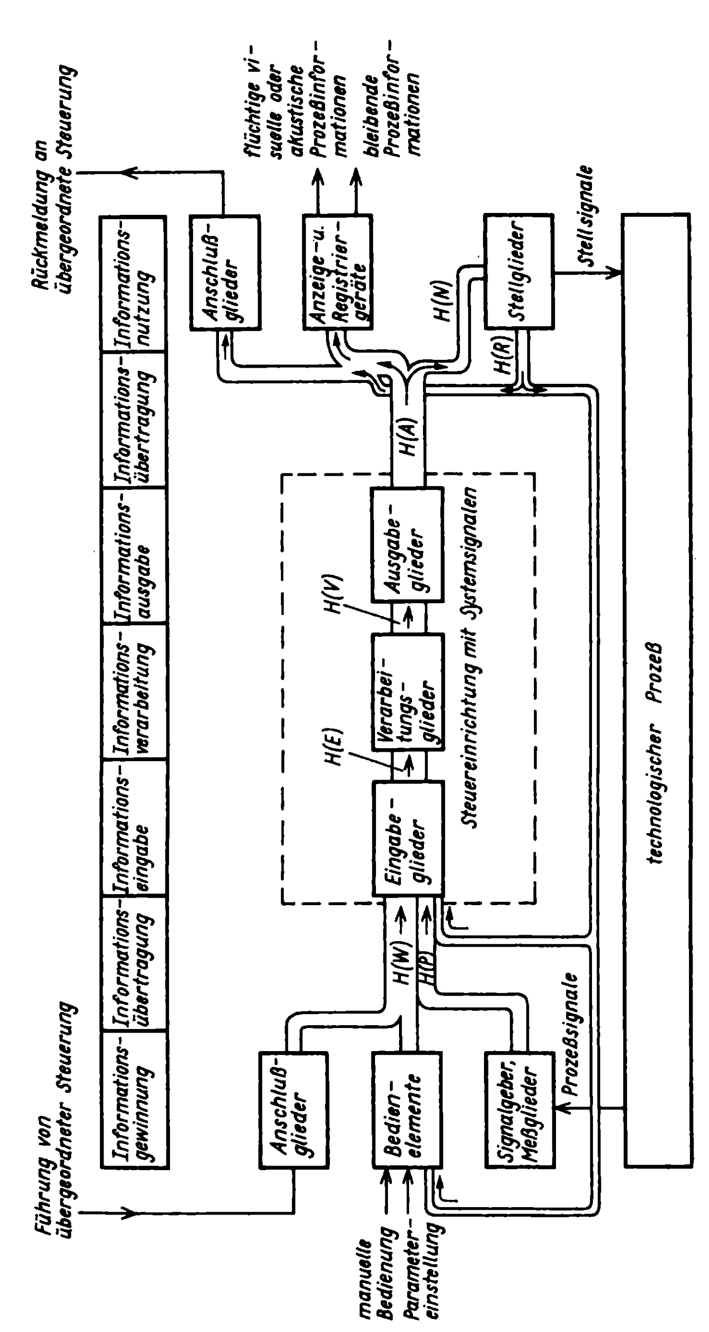


Bild 3.1.1: Zur Veranschaulichung des Informationsflusses

Die Steuereinrichtung bezieht ihre Informationen zum Ablauf des Steuervorgangs aus den Prozeß- und Führungsgrößen. Diese bilden die Informationsquelle. Die Informationsübertragung darf den Informationsgehalt, im Bild mit $H(W)$ und $H(P)$ bezeichnet, nicht verfälschen. Ziel der Informationseingabe in die Steuereinrichtung ist neben einer elektrischen Anpassung der Signale (ohne Informationsverlust) eine Vorverarbeitung, die zu einem gewollten Verlust an Information führen kann, $H(E) \leqq H(W, P)$.

In dem Teilabschnitt „Informationsverarbeitung" werden aufgrund der Bewertung des Informationsgehalts $H(E)$ die notwendigen Entscheidungen für den weiteren Prozeßablauf getroffen. Die Informationsverarbeitung ist somit der Kern bei der Abarbeitung des Steueralgorithmus. Der ausgegebene Informationsgehalt kann sein: $H(V) \gtreqqless H(E)$, je nachdem, wie der Steueralgorithmus gestaltet ist. Eine bestimmte Information, z. B. über einen gefährlichen Zustand der technologischen Anlage, kann ein umfangreiches Antihavarieprogramm auslösen. Andererseits sind mitunter viele Prozeßinformationen notwendig, ehe bei einer Ablaufsteuerung der nächste Schritt vollzogen wird.

Die Informationsausgabe hat die Anpassung für die Übertragung und die anschließende Nutzung zum Inhalt. Neue Informationen kommen nicht hinzu, $H(V) \geqq H(N, D)$, d. h., zur Nutzung und Darstellung kommen entweder die gleichen oder weniger Informationen an. Hier ist die Informationssenke für die Steuerungseinrichtung.

Einige Rückmeldungen (z. B. von den Stellgliedern) bringen einen Zuwachs an Information, die allerdings nicht immer über die zentrale Informationsverarbeitung geschleift wird. Der mit $H(R)$ bezeichnete zusätzliche Informationsgehalt kann sowohl bei der Informationsgewinnung zur Verriegelung von Befehlsgeräten als auch bei Darstellung ohne direkten Einfluß auf die Steuereinrichtung bleiben.

Der mittlere Informationsgehalt je Zeiteinheit ist der Informationsfluß I_f,

$$I_f = \frac{H}{t} \quad \text{in bit/s.}$$

Bild 3.1.1 ist somit auch repräsentativ für den Informationsfluß. Es gibt aber nur bedingt Auskunft über die örtliche Zuordnung. So befinden sich Anzeigegeräte an allen Abschnitten des Informationsflusses, besonders aber bei den Bediengeräten.

Jedes Glied in einer Steuerung hat einen Grenzwert für den Informationsfluß I_f. Dieser Grenzwert wird als Kanalkapazität C_t (bit/s) bezeichnet. Die Kanalkapazität gibt an, wieviel Bit je Zeiteinheit maximal von einem Glied ermittelt, übertragen oder verarbeitet werden können. Die Kanalkapazität ist auch eine geeignete Kenngröße zum Vergleich der Leistungsfähigkeit von Gliedern.

Zur einwandfreien Funktion einer Steuerung muß die Kanalkapazität aller Glieder einschließlich die der Übertragungswege den notwendigen Informationsfluß gewährleisten. Es muß sein: $C_t \geqq I_f$.

Näheres vermittelt die Informationstheorie, s. a. [3.19] bis [3.22].

Zur Darstellung der Informationen werden in Steuerungen wie in allen anderen informationsverarbeitenden elektronischen Geräten und Anlagen elektrische Signale benutzt. Die gleichsinnige Behandlung der Begriffe „Information" und „Signal" wurde bereits im Abschnitt 2.1.2. begründet. Im folgenden wird deshalb der Begriff „Signal" verwendet. In den einzelnen Unterabschnitten folgen weitere spezielle Angaben zu den einzelnen Stationen des Signalflusses, wobei Bezug genommen wird auf TGL 14591 und andere Systemarbeiten [3.23] bis [3.25].

3.1.1.1. Signalgewinnung

Ergebnis der Signalgewinnung sind

- Prozeßsignale (abgeleitet aus dem technologischen Prozeß)
- Führungssignale (ausgehend von den übergeordneten Funktionseinheiten oder von der manuellen Eingabe durch das Bedienpersonal).

Meßfühler zur Erfassung physikalischer Prozeßgrößen gelten als Bestandteil der technologischen Anlage. Die im Signalfluß folgenden Glieder werden erst dann zur Steuerung gerechnet, wenn der Signalträger durch Wandlung auf ein elektrisches Signal abgebildet ist. Das trifft bei den Signalgebern zu.

Signalgeber: Glied, das eine direkte Umsetzung von Prozeßgrößen in binäre oder digitale Signale vornimmt. Die Geber lösen die Eingangssignale für die Steuerungseinrichtung aus, im einfachsten Fall durch das Öffnen und Schließen von Kontakten. Wegen der Nachteile der mechanisch bewegten und der Korrosion und Verschmutzung ausgesetzten Kontakte geht der Trend zum Einsatz kontaktloser Geber (Sensoren). Als Basis dienen dafür verschiedene physikalische Effekte, wie die Licht- oder Druckempfindlichkeit von Halbleitern.

kontaktlos: Eigenschaft eines Gliedes, die Signaländerung ohne mechanische Berührung oder Bewegung auszulösen.

prellfrei: Eigenschaft eines Schaltgliedes, die Zustandsänderung einmalig und eindeutig auszuführen, s. a. Bild 3.1.2.

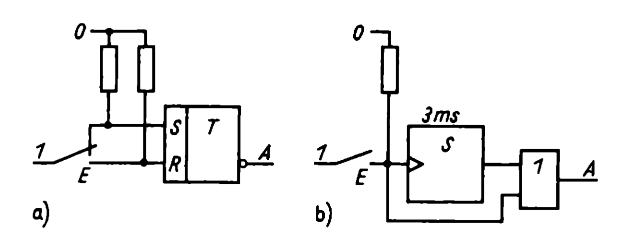


Bild 3.1.2
Schaltungsanordnung zum Entprellen von Kontakten
a) mit Umschalter und RS-Flipflop
b) mit Schließer und Monoflop

Grenzwertglied: Meßglied mit definierter Ansprechschwelle, das die Meßgröße mit einem Grenzwert vergleicht. Beim Über- oder Unterschreiten ändert sich das Signal am Ausgang des Gliedes. Der Ansprechwert kann meist innerhalb eines Einstellbereichs verändert werden. Der Ansprechwert ist um einen bestimmten Betrag zweideutig (Hysterese), d. h. abhängig von der Richtung der Annäherung. Spezialfall: Nulltrigger.

3.1.1.2. Signalübertragung

Bedingt durch die örtliche Trennung Prozeß — Steuerung, sind die Signale von den Gebern zur Eingabe an den signalverarbeitenden Teil zu übertragen. Längs des Übertragungsweges kann durch das Prozeßmilieu eine Verfälschung (Störung) der Signale erfolgen.

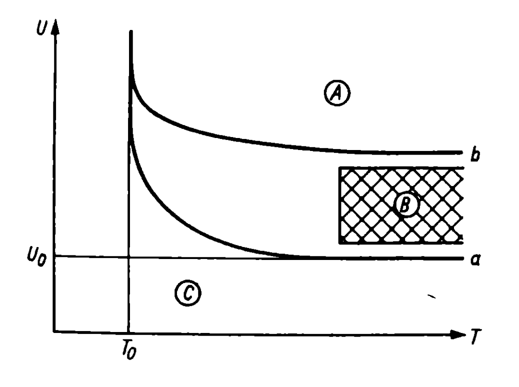


Bild 3.1.3
Prinzipieller Verlauf von Kurven zur Störfestigkeit (a) und zur Zerstörfestigkeit (b) von Übertragungsgliedern bei Beaufiagung mit Eingangsimpulsen der Amplitude U und der Dauer T

(*A*) Bereich der potentiellen Zerstörung
(*B*) zugelassener Arbeitsbereich
(*C*) Bereich des Nichtansprechens
T_0 Zeitschwelle (bei $T < T_0$ generell kein Ansprechen)
U_0 Spannungsschwelle (bei $U < U_0$ kein Ansprechen)

Störung: Abweichung von den funktionsbedingten, vorgeschriebenen oder zulässigen Parametern.

Störsignal: Signal, das ungewollt und meist unvorhergesehen durch kapazitive, induktive oder galvanische Kopplung auf den Leitungen einer Steuerung entsteht.

Störfestigkeit: Grenzwert eines Störsignals, bis zu dem die Funktion der Glieder einer Steuerung unbeeinflußt bleibt.

Zerstörfestigkeit: Grenzwert eines Störsignals, bis zu dem keine elektrische oder mechanische Zerstörung der Glieder einer Steuerung erfolgt.

Die Stör- und Zerstörfestigkeit ist eine Funktion der übergekoppelten elektrischen Energie, d. h., die Festigkeit ist sowohl von der Amplitude als auch vom zeitlichen Verlauf des Störsignals abhängig, s. Bild 3.1.3.

Die Auswirkungen eines Störsignals können durch folgende schaltungstechnische Maßnahmen beseitigt werden:

— Verstärkung des Übertragungssignals durch Leitungstreiber zur Vergrößerung des Nutzsignalpegels
— Erhöhung der Zeitkonstanten des Eingabegliedes zur Unterdrückung kurzer Störimpulse
— Potentialtrennung zur Vermeidung zerstörend wirkender Impulse und zur Gewährleistung besonderer Schutzarten.

Generell ist als vorbeugende Maßnahme der Verursacher des Störsignals zu beseitigen oder zu bedämpfen.

Das analoge Problem besteht bei der Übertragung der Nutzsignale nach der Signalausgabe. Da hier ohnehin Leistungssignale übertragen werden, sind die Folgen der Einwirkung externer Störungen weitaus geringer.

Die Übertragung der Signale kann parallel oder seriell erfolgen.

Parallelübertragung: Signale werden gleichzeitig über verschiedene Leitungen weitergegeben.

Serienübertragung: Signale werden nacheinander über eine Leitung weitergegeben.

Dazu sind die Ausgänge der Signalgeber blockweise (*D0* ... *D7* im Bild 3.1.4a) an Parallel-Serien-Umsetzer (Schieberegister) anzuschließen, die ausgangsseitig ein Pulstelegramm (Bild 3.1.4b) aussenden. Nach der Informationsübertragung ist die Pulsfolge bei der Signaleingabe in die Steuereinrichtung wieder in parallele Signale umzusetzen. Auch dazu eignen sich Schieberegister.

Die serielle Signalübertragung ist leitungssparend, erfordert aber zusätzlichen Aufwand zur Zwischenspeicherung und zur Synchronisation. Diese Übertragungsart ist deshalb überwiegend intelligenten Steuereinrichtungen mit Mikrorechnern vorbehalten.

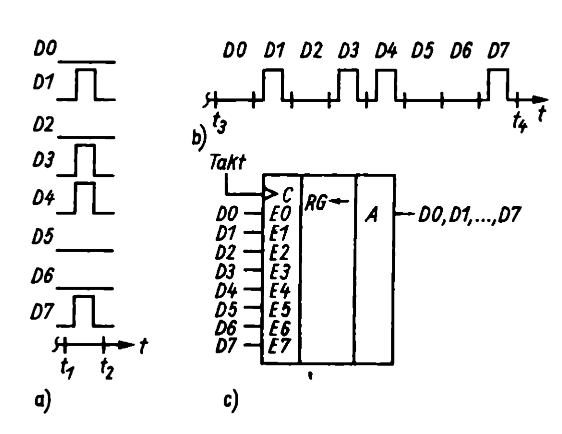


Bild 3.1.4
Zur Veranschaulichung der Parallel-Serien-Übertragung

a) Parallelübertragung
b) Serienübertragung des Datenwortes von a)
c) Schaltzeichen des zur Parallel-Serien-Wandlung notwendigen Schaltkreises (Schieberegister)

3.1.1.3. Signaleingabe

Die Glieder der Signaleingabe haben die Aufgabe, den möglicherweise zu geringen oder zu hohen Pegel nach der Signalgewinnung und -übertragung an das Niveau der Signalverarbeitung anzupassen. Weiterhin müssen die Folgen äußerer Störungen beseitigt werden, insbesondere bei größeren Leitungslängen zwischen Geber und Steuereinrichtung. Bei analogen Signalen ist eine Umsetzung in digitale Signale notwendig. Sind die Ausgangssignale der Signalgewinnung bereits Systemsignale und ist deren störungsfreie Übertragung gesichert, können Eingabeglieder entfallen, Bild 3.1.5.

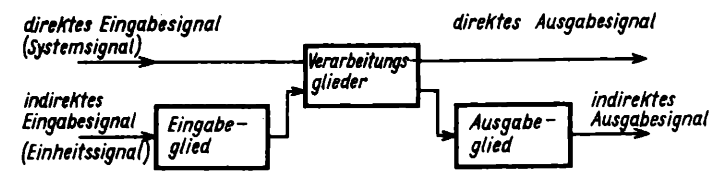


Bild 3.1.5. Direkte und indirekte Ein-/Ausgabe

Eingabesignal: Signal, das, von einer übergeordneten Funktionseinheit, vom Bedienpult oder vom Prozeß kommend, indirekt über ein Eingabeglied (meist als Einheitssignal) oder direkt auf die Signalverarbeitung Einfluß nimmt (als Systemsignal).

Eingabeglied: Glied zur Anpassung und Aufbereitung von Eingabesignalen an das Systemsignal entsprechend den Gegebenheiten des Prozesses und der technischen Ausführung der Steuerung, insbesondere durch Abschwächen, Verstärken, Entstören, Umformen, Umsetzen und Potentialtrennen.

Systemsignal: Signal, dessen Parameter für die Signalverarbeitung in einem bestimmten Baugruppensystem festgelegt sind und das ohne zusätzliche Maßnahmen von allen Baugruppen des Systems verarbeitet werden kann.

Einheitssignal: Eingabesignal mit festgelegten Parametern, das unabhängig von bestimmten Baugruppensystemen generationsinvariant genutzt wird.

3.1.1.4. Signalverarbeitung

In diesem Abschnitt des Signalflusses wird die eigentliche Steuerungsaufgabe gelöst. Hier wird der vorgesehene Steuerungsalgorithmus mit den typischen Elementen der Schaltsysteme und Automaten (s. Abschn. 2.1.3.) abgearbeitet. Das Leistungsniveau wird niedrig gehalten, da nur die Informationsverarbeitung durchzuführen ist.

Grundfunktionen: elementare logische Funktionen zum Durchführen von Verknüpfungs-, Zeit- oder Speicherfunktionen (s. auch Tafeln 2.2.4 bis 2.2.6).

Grundfunktionsglied: Logikglied, das eine Grundfunktion ausführt (Verknüpfungs-, Zeit- oder Speicherglied).

Kombinationsglied: höherorganisiertes Logikglied, das als Verknüpfung von Grundfunktionsgliedern eine komplexe Funktion ausführt. Man unterscheidet:

- Standardkombinationsglieder: Zähler, Register u. dgl., s. Tafel 3.1.2
- problemorientierte Kombinationsglieder: Antriebssteuerung, Verriegelung, Taktkette (Ablaufkette) und andere aus häufig vorkommenden technologischen Aufgabenstellungen resultierende Glieder.

Die Funktionen der Kombinationsglieder sind bei speicherprogrammierbaren Steuerungen programmtechnisch realisierbar.

Tafel 3.1.2. Standardkombinationsglieder

Benennung	Funktionsbeschreibung
Arithmetikeinheit	Zusatzglied in Steuerungen, das arithmetische Operationen ausführt (Addition, Subtraktion, Multiplikation, Division u. a.)
Codeumsetzer	Kombinationsglied zur Umsetzung eines Binärwortes in ein anderes nach einer vereinbarten Vorschrift (dem Code) ohne Verlust an Information
Codierer	Umsetzer zur Verschlüsselung
Decodierer	Umsetzer zur Entschlüsselung
Frequenzteiler	Kombinationsglied, das auf m Eingabeimpulse n Ausgabeimpulse liefert, $m > n$
Frequenzvervielfacher	Kombinationsglied, das auf m Eingabeimpulse n Ausgabeimpulse liefert, $m < n$
Impulsuntersetzer	Kombinationsglied, das auf m Eingabeimpulse einen Ausgabeimpuls liefert
Register	Anordnung aus mehreren Speichergliedern, die durch ein Binärwort gemeinsam beeinflußt werden
Parallelregister	Register zur gleichzeitigen Übernahme und zum Speichern eines Binärwortes
Schieberegister	Register, bei dem das gespeicherte Binärwort mit dem Schiebetakt um jeweils eine Stelle weitergeschoben und ausgegeben wird
Ringzähler	ringförmig verbundenes, endloses Schieberegister, in dem zyklisch eine einmal eingegebene Binärfolge umläuft
Speicher	Kombinationsglied mit mehreren elementaren Speichergliedern
Speicher, statisch	Das Setzen des Speichers erfolgt, wenn das zu speichernde Signal (und gegebenenfalls der Taktimpuls) einen bestimmten Wert erreicht hat und für eine bestimmte Zeit ansteht
Speicher, dynamisch	Das Setzen des Speichers wird durch eine Flanke des zu speichernden Signals bzw. durch die des Taktimpulses herbeigeführt
Kellerspeicher	meist mehrbahniger Speicher, bei dem die eingehenden Signalfolgen (meist Binärwörter) nacheinander eingespeichert und in umgekehrter Reihenfolge wieder entnommen werden (LIFO-Speicher: last in — first out)
Zustandsspeicher	multistabiler Speicher mit Corex-Struktur
Taktgeber	Generator für pulsförmige Signale (Taktimpulse) in taktsynchronen Steuerungen
Vergleicher	Kombinationsglied zum Vergleich von Binärwörtern, z. B. zum Identifizieren von Wörtern mit gleichem Bitmuster
Zähler	Kombinationsglied zum Erfassen der Anzahl von Impulsen
Zähler, asynchron	Zähler, der durch serielle Einzelsignale geschaltet wird (Serienzähler)
Zähler, synchron	Zähler, der durch Binärwörter (parallele Eingabe) geschaltet wird (Parallelzähler)
Zähler, taktsynchron	Synchronzähler, dessen Weiterschalten zusätzlich vom Taktimpuls abhängt

Verarbeitungstiefe: Maß für die funktionelle Komplexität einer Steuerung,

$$V = \frac{\text{Summe der Grundfunktionen}}{\text{Summe der Ein- und Ausgänge}}$$

Äquivalenz, Antivalenz und Speichern zählen als eine Grundfunktion, solange nicht mehr als zwei Eingangsvariable anstehen. Der Begriff „Verarbeitungstiefe" kann sinngemäß auch bei Kombinationsgliedern angewendet werden. V ist hier $\gg 1$. Die Verarbeitungstiefe ist ein funktioneller Begriff, während der „Integrationsgrad I" ein schaltungstechnischer Begriff ist (s. Tafel 2.3.3). Die Maßzahlen beider Begriffe sind, bezogen auf ein bestimmtes technisch realisiertes Kombinationsglied, unterschiedlich.

Grenzfrequenz, Definition 1: reziproker Wert der maximalen Signallaufzeit, d. h. der im ungünstigsten Fall auftretenden längsten Signallaufzeit t_V durch ein Glied;

$$f_g = \frac{1}{t_V}.$$

Bei Bausteinsystemen wird als Basis häufig die Laufzeit des systemeigenen *RS*-Speichergliedes gewählt. Bei Steuerungen ist die Grenzfrequenz der reziproke Wert der maximalen Signallaufzeit, bezogen auf einen definierten Signalverarbeitungsvorgang.

Grenzfrequenz, Definition 2: oberster Wert der Frequenz eines periodischen Signals (in Steuerungen immer Pulssignale), dessen Verarbeitung gerade noch fehlerfrei durchgeführt wird (bezogen auf ein bestimmtes Glied);

$$f_g = \frac{1}{\text{minimale Pulsdauer} + \text{minimale Pausendauer}}.$$

Taktfrequenz: Frequenz des Taktsignals in einer getakteten Steuerung. Die Taktfrequenz ist immer < Grenzfrequenz. Zur Erzeugung des Taktes wird ein Taktgeber verwendet.

Grundstellung: definierter Signalzustand eines Logikgliedes oder einer Steuerung vor Beginn der Signalverarbeitung. Bei Speichergliedern wird z. B. die Grundstellung durch schaltungstechnische Maßnahmen mit dem Einschalten der Versorgungsspannung erzwungen, z. B. mit einem Richtimpulsgeber.

Tafel 3.1.3. Betriebsarten von Steuerungen

Betriebsart	Arbeitsweise der Steuerung
Automatik	gestartetes Programm läuft ohne unmittelbares Mitwirken des Bedienungspersonals ab
Teilautomatik	Teile des Programms laufen automatisch ab
Hand	Steuerung wird vom Bedienungspersonal betätigt, das Programm wird nur durch vorhandene Verriegelungen begrenzt
Einrichten	Stellglieder der Steuerung werden durch Eingriffe des Bedienungspersonals unter Umgehung vorhandener Verriegelungen (mit Ausnahme von Sicherheitsverriegelungen) betätigt; Vor-Ort-Steuerung
Schrittsetzen	Ablaufkette (Taktkette) wird auf einen vom Bedienungspersonal gewählten Schritt gesetzt (bei Ablaufsteuerungen)
Tippen	Weiterschalten der Ablaufkette auf den nächsten Schritt (von Hand; bei Ablaufsteuerungen)

Richtimpuls: Impuls bei getakteten Steuerungen, der die Grundstellung erzwingt.

Haftverhalten: zeitlich unbegrenzte Speicherung von binären oder digitalen Signalen nach dem Abschalten der Versorgungsspannung (in „Haftspeichern", z. B. mit Ferritkernen). Die eingespeicherte Information ist nach dem Einschalten der Versorgungsspannung wieder abrufbar.

Betriebsart: Kennzeichnung der Führung der Steuerung (Tafel 3.1.3), die durch einen Betriebsartenschalter, z. B. auf dem zentralen Bedienpult, unter Berücksichtigung vorliegender Verriegelungen ausgewählt werden kann.

Reparaturbetrieb: Führung der Steuerung von Hand zum Auffinden von Fehlern und zum Testen

Tafel 3.1.4. Fehlerarten

Fehler	Merkmal
Aktiver	Fehler löst ungewollte Steuerungsfunktion aus
Passiver	Fehler blockiert Steuerungsfunktion
Nicht selbstmeldender	Fehler macht sich nicht sofort bemerkbar, sondern erst bei einer späteren Betätigung oder im weiteren Programmablauf
Selbstmeldender	Fehler macht sich im Moment des Auftretens bemerkbar
Ungefährlicher	Fehler bewirkt keine Gefährdung von Personen und Sachwerten
Gefährlicher	Fehler bewirkt Gefährdung von Personen und Sachwerten

Tafel 3.1.5. Schutzmaßnahmen für Ausgabeglieder

Bezeichnung	Schutzmaßnahme
Abgesichert	Der Stromfluß durch den Ausgang wird bei Überlastung oder Kurzschluß unterbrochen (mit Schmelzsicherungen, Auslösern oder durch elektronische Maßnahmen). Elektronische Schaltungen gestatten das automatische Zuschalten nach Verschwinden der Überlast.
Kurzschlußfest	Der Ausgangsstrom bleibt bei Kurzschluß durch ausreichende innere Impedanz oder Strombegrenzungsschaltungen unterhalb eines Wertes, der für den vorgesehenen Anwendungsfall ungefährlich ist. Nach dem Verschwinden des Kurzschlusses stellt sich der normale Pegel wieder ein.
Überlastfest	Der Ausgang ist gegen Zerstörung durch Überlast geschützt. Überlasten können sein: — passive Lasten, die über die zulässige Belastung hinausgehen, im Extremfall bis zum Kurzschluß — aktive Lasten, die einen Rückstrom durch den Ausgang zur Folge haben können oder eine Überspannung aufbauen, z. B. beim Abschalten induktiver Verbraucher. Für die Zulässigkeit aktiver Lasten sind gewöhnlich weitere Parameter zu fixieren bzw. überspannungsbedämpfende Maßnahmen festzulegen.
Entkoppelt	Der Ausgang des Ausgabegliedes ist rückwirkungsfrei an den Eingang des Gliedes zur Signalnutzung angeschlossen (durch Koppelrelais, Entkopplungsdioden, Optokoppler oder Schaltkreisausgänge mit Tristate-Verhalten, bei denen der Ausgang sperrbar ist.

nach deren Beseitigung. Entsprechend den Erfordernissen finden dabei die Betriebsarten Hand, Einrichten, Schrittsetzen und Tippen Verwendung, s. a. Tafel 3.1.3.

Verriegelung: gewollte Blockierung eines Steuersignals, bis die Bedingungen für eine Freigabe vorliegen (meist durch prozeßabhängige Signale).

Freigabe: Aufheben der Verriegelung.

Schutzverriegelung: Verriegelung zum Schutz von Personen und Sachwerten, überwiegend direkt mit dem gefährdenden Stellglied verbunden.

Fehler: Der zu steuernde Prozeßablauf wird durch etwaige Fehler der Steuerung gefährdet. Die Auswirkungen von Fehlern können unterschiedlich sein, Tafel 3.1.4. Entsprechende Maßnahmen sind einzuleiten, s. dazu Abschnitt 3.2.5.

3.1.1.5. Signalausgabe

Nach erfolgter Signalverarbeitung ist das Leistungsniveau der Signale so anzuheben, daß sie die Schalt- und Stellglieder und die Glieder zur Signaldarstellung anregen können.

Ausgabesignal: Signal, das nach der Signalverarbeitung für die Signalnutzung bereitgestellt wird (meist als Einheitssignal, s. a. Bild 3.1.5 und Tafel 3.2.2).

Ausgabeglied: Glied zur Anpassung von Systemsignalen an die signalnutzenden Glieder, insbesondere zum Verstärken, Umformen, Umsetzen und Potentialtrennen. Die Ausgänge der Ausgabeglieder müssen gegen zu erwartende äußere Einflüsse durch entsprechende Maßnahmen geschützt werden (Tafel 3.1.5).

3.1.1.6. Signalnutzung

Die zielgerichtete Einflußnahme auf den zu steuernden technologischen Prozeß ist die Aufgabe der Steuerung. Die ausführenden Stellglieder wirken unmittelbar auf die Stoff- und Energieströme ein. Die Stellglieder sind den Erfordernissen des technologischen Prozesses anzupassen, sie sind gewöhnlich nicht Bestandteil der Steuereinrichtung. Das Stellglied beinhaltet meist einen Stellantrieb, wie Hubmagnet oder Motor. Wesentliche Merkmale technischer Stellglieder sind in Tafel 3.1.6 aufgeführt.

Eine weitere Nutzung der Ausgabesignale ist für die Anzeige und Registrierung von Schalt- und Prozeßzuständen notwendig. Das Informationssystem kann folgende Komponenten umfassen:

Tafel 3.1.6. Eigenschaften von Stellgliedern

Bezeichnung	Eigenschaft
Stetig	Masse- bzw. Energiestrom ist innerhalb des Nennbereichs kontinuierlich veränderbar
Schaltend	Masse- bzw. Energiestrom ist stufenweise verstellbar. Sind die Schaltschritte sehr klein, kann das Verhalten dem eines stetigen Stellgliedes ähneln. Schaltende Stellglieder mit Zweipunktverhalten (Ein — Aus) können auch stetigen angenähert werden, wenn die Einschalt-/Ausschaltdauer wesentlich kleiner als die Zeitkonstante des Prozesses ist.
Speichernd	Stellglied bleibt in der Stellung stehen, die der letzte Steuerbefehl vorgegeben hat.
Nicht speichernd	Stellglied fällt in eine vorbestimmte Stellung zurück, wenn das Ansteuersignal fehlt (Anwendung bei sicherheitsgerichteten Anlagen).

- Anzeige visuell wahrnehmbarer Informationen durch Lampen, Melder und Bildschirmgeräte
- Abgabe akustischer Informationen durch Summer und Signalhörner, insbesondere bei Gefahrenmeldung
- Archivierung von Informationen auf Lochstreifen, Magnetbändern, Magnetbandkassetten oder Folienspeichern (Disketten)
- Dokumentation von Informationen mittels Drucker oder Plotter.

Die zuletzt genannten Formen der Registrierung erfordern Rechnereinsatz und werden meist auf der Ebene der übergeordneten Steuerung (im Wartenbereich) ausgeführt. Die übergeordnete Steuerung wertet auch Rückmeldungen aus, s. a. Bild 3.1.1.

3.1.2. Ebenen in Hierarchiesystemen

Prozeßsteuerungen zählen im allgemeinen zu den großen Systemen, d. h., sie besitzen eine so große Anzahl von Gliedern und eine so große Komplexität der Kopplungen, daß sie ohne eine Aufteilung in Subsysteme kaum überschaubar und handhabbar sind.

Die Aufteilung des Steuerungssystems hat nach bestimmten Prinzipien zu erfolgen. Bewährt hat sich die Methode der Dekomposition. Sie hat die geordnete Zerlegung des Systems in Subsysteme zum Ziel, die dann untereinander abgegrenzte und weitgehend in sich geschlossene Funktionen realisieren [3.26] bis [3.28]. Diese Funktionen sind Abschnitten des zu steuernden technologischen Prozesses zuordenbar (horizontale Gliederung). Solch eine Aufteilung wird gewöhnlich bereits beim intuitiven Entwurf von Steuerungen aus rein pragmatischen Gründen vorgenommen.

Diese Subsysteme lassen sich in verschiedenen Ebenen ansiedeln (vertikale Gliederung). Ein Mehrebenensystem ist nach [3.1] ein dekomponiertes Steuerungssystem mit einer Hierarchie von Steuerebenen, bei denen die Funktionseinheiten der unteren Ebene die optimale Steuerung der mit ihnen direkt gekoppelten Abschnitte des technologischen Prozesses übernehmen, während

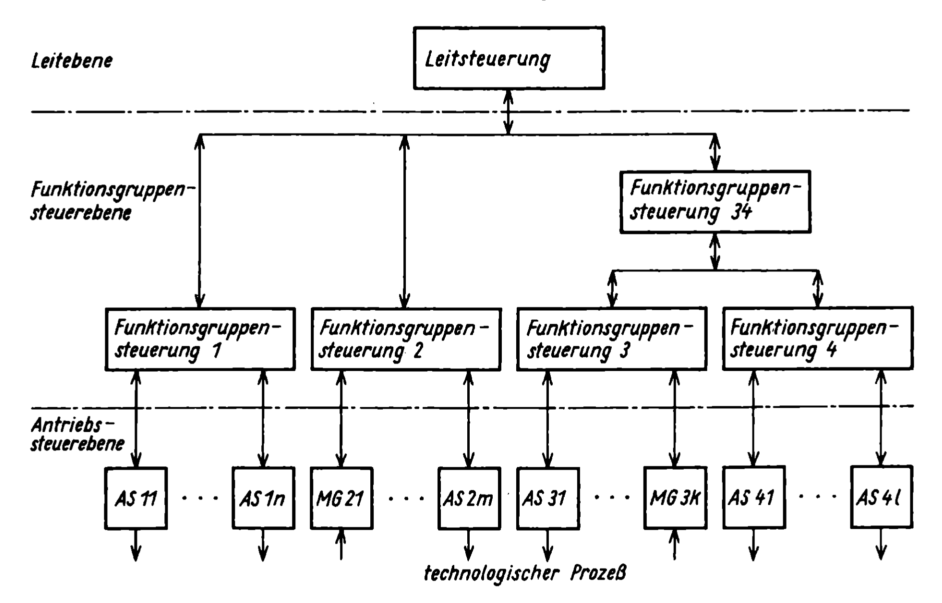


Bild 3.1.6. Unterteilung einer Steuerung in Hierarchieebenen
AS Antriebssteuerung; *MG* Meßglied

die Funktionseinheiten der höheren Ebenen die Aufgabe haben, durch Koordinierung der ihnen unterstellten Funktionseinheiten die Zielstellung für das gesamte System zu verwirklichen.

Theorie und Praxis haben gezeigt, daß für Prozeßsteuerungen eine vertikale Gliederung in drei Ebenen, die Bild 3.1.6 schematisch darstellt, ausreichend und zweckmäßig ist. Die untere Ebene des Steuerungssystems, die dem technologischen Prozeß am nächsten liegt, kommuniziert direkt mit ihm. Über die Prozeßsignale werden die Zustände des technologischen Prozesses erfaßt, und durch Stellsignale wird der Prozeß beeinflußt (gesteuert). Da die meisten Stellglieder, wie Ventile, Schieber und Schaltanlagen, motorische oder elektromagnetische Antriebe aufweisen, wird die untere Ebene bei Prozeßsteuerungen „Antriebssteuerebene" genannt.

Die logische Funktion der Steuerung von Antrieben läßt sich durch Standardisierung so vereinheitlichen, daß ein universell einsetzbares Kombinationsglied entsteht, s. auch Abschnitte 4.2.3.6.3. und 5.2.2.

Antriebssteuerungen werden ausgeführt für

- Ein-Richtungs-Antriebe (Antriebe mit einer Drehrichtung, Magnetventile)
- Zwei-Richtungs-Antriebe (Reversierantriebe, Antriebe für Schieber und Klappen mit zwei definierten Endstellungen).

Bei den letztgenannten ist eine zusätzliche Verriegelung vorhanden, um nur eine Laufrichtung zuzulassen und um ein sofortiges Umsteuern der Laufrichtung zu vermeiden.

Der Antriebssteuerebene sind weitere, antriebsunabhängige Glieder zur Erfassung von mathematischen und physikalischen Prozeßgrößen zugeordnet (Weg, Position, Winkel, Stückzahl, Zeit, Temperatur, Druck, Durchfluß u. a.).

Für die über der Antriebssteuerebene liegende „Funktionsgruppensteuerebene" ist charakteristisch, daß sie nur koordinierend wirkt und keinen direkten Durchgriff zum technologischen Prozeß hat. Diese zweite Ebene wird deshalb auch Koordinierungsebene genannt. Sie wird nur dann aktiv, wenn

- der Zustand des Prozesses vom Normalzustand abweicht (Störung)
- der Zustand des Prozesses geändert werden muß (Führung).

Ihre Aufgabe ist es auch, in den Steuerungsablauf Signale von Meßgliedern einzubeziehen (im Bild 3.1.6 mit *MG 21* und *MG 3k* bezeichnet).

Die Vielfalt der Steuerungsaufgaben ist wesentlich größer als bei den Antriebssteuerungen. Typische Funktionen sind:

- Vorgabe der Steuerungsparameter aufgrund von Steuerbefehlen der Leitebene
- Steuern der untergeordneten Antriebe entsprechend dem vorgesehenen Ablauf
- Überwachen des Ablaufs, insbesondere beim An- und Abfahren
- Verriegeln der Antriebe untereinander sowie beim Umschalten Hand/Automatik
- Zusammenfassen der Meldungen und Ausgabe der Zustands- und Störungsmeldungen
- Auswertung der Signale von Meßgliedern außerhalb der Antriebssteuerungen.

Die Ausführung dieser Funktionen erfordert problemorientierte Funktionseinheiten. Universell einsetzbare Funktionseinheiten dieser Art sind: Ablaufketten (Taktketten), Vorwahl- und Verriegelungseinheiten, programmierbare Zeiteinheiten, Start-Befehls-Einheiten und Betriebsartenumschaltung, s. a. Abschnitte 4.2.3.6.3. und 5.3.

Bei umfangreichen Aufgaben können auch mehrere Funktionsgruppensteuerungen hierarchisch übereinandergeordnet werden, rechts im Bild 3.1.6.

Die Leitebene ist die oberste Ebene. Ihre Aufgabe ist die Koordinierung des Gesamtprozesses, die Zusammenfassung der Bedienung und Meldung. Über die Zentrale (mit Bedienpult, Leitstand oder Warte) wird die Kommunikation Mensch — Anlage durchgeführt.

Leitrechner übernehmen im Rahmen der Führung der gesamten Anlage u. a. folgende Aufgaben [3.29] bis [3.32]:

- Koordinierung der untergeordneten Funktionsgruppensteuerebene
- Bearbeitung von rechenzeitintensiven Echtzeitprogrammen zur Prozeßführung und -optimierung

— Programmspeicherung für System-Software und zur Bildschirmprogrammierung des dem Leitrechner zugeordneten Bedienpultes.

Bildschirmwarten sind eine hervorragende Unterstützung für den Anlagenfahrer. Neben der effektiven Routinearbeit mit wählbaren Darstellungen vom Prozeßablauf ist besonders die Unterstützung bei Störungen und Havarien hervorzuheben (Einblendung von Handlungshilfen), die zu einer wesentlichen Steigerung der Sicherheit bei der Prozeßführung beiträgt.

Hierarchiesysteme sind formal abrüstbar. Im Bild 3.1.7a ist dargestellt, daß die Signalverarbeitung zentral in der Leitebene erfolgt, z. B. mit Prozeßrechner, der die Aufgaben der Funktionsgruppensteuerebene mit übernimmt.

Andererseits ist eine dezentrale Signalverarbeitung in der Funktionsgruppenebene ohne übergeordnete Leitebene durchführbar, Bild 3.1.7b, z. B. bei der Einzelsteuerung von Teilprozessen.

Der konsequente Einsatz der Mikrorechentechnik führt zu hierarchisch gegliederten Anlagenstrukturen, d. h. zu Systemen ohne Abrüstung [3.32].

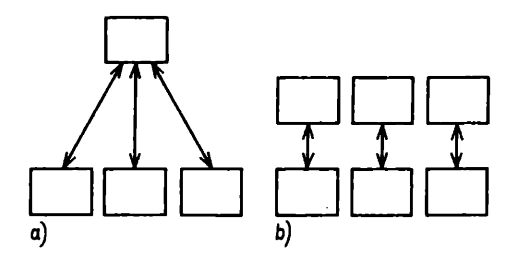


Bild 3.1.7
Abgerüstete Hierarchiesysteme
a) Konzentration in der Leitebene
b) Verzicht auf die Leitebene

3.1.3. Kopplungen in Hierarchiesystemen

Elemente zur Kopplung der Glieder in großen Systemen sind

— der Stern als Grundelement einer zentralisierten Struktur, Bild 3.1.8a, Verbindung nur über die Zentrale

— das Polyeder als Grundelement einer dezentralisierten Struktur, Bild 3.1.8b.
  Es sind auch direkte Punkt-zu-Punkt-Verbindungen möglich. Eines der Systeme kann die Zentrale sein.

Als technisch zweckmäßig haben sich bei dezentralisierten Steuerungen abgerüstete Polyederstrukturen als Linie oder Ring erwiesen, Bild 3.1.9 und Tafel 3.1.7.

Durch die Vermaschung von Linien- und Ringstrukturen sowie durch abgestufte dezentrale und zentrale Steuerung des Datenaustausches läßt sich eine große Anzahl von Systemarchitekturen mit spezifischen Vor- und Nachteilen aufstellen [3.33] [3.34].

Die sequentielle Arbeitsweise rechnerspezifischer Komponenten führt zu Sammelleitungssystemen, über die der Austausch von Daten ebenfalls sequentiell erfolgt. Solche Sammelleitungen

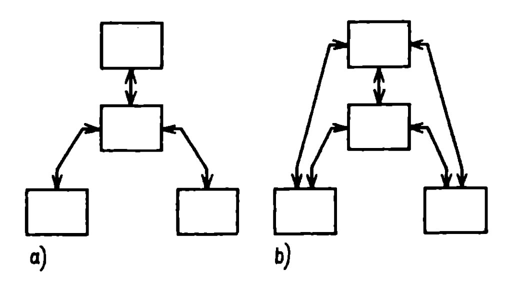


Bild 3.1.8
Grundelemente von Bussystemen
a) Stern
b) Polyeder

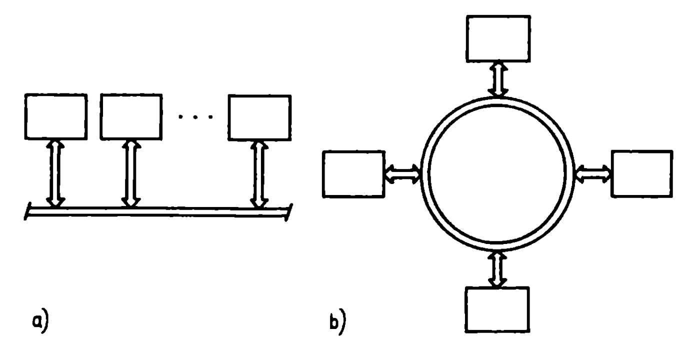


Bild 3.1.9. Abgerüstete Polyederstrukturen

a) Linie; b) Ring

Tafel 3.1.7. Vor- und Nachteile von Linien- und Ringstrukturen

Struktur	Vorteile	Nachteile
Linienstruktur	einfache Steuerung der Datenbahn	Teilausfall des Systems bei Linienunterbrechung
	einfache gerätetechnische Lösung	nur ein Datenaustausch gleichzeitig möglich
Ringstruktur	kein Ausfall des Systems bei Bruch der Datenbahn, da weiterer Betrieb als Linie möglich	aufwendige Steuerung
	Parallelbetrieb auf örtlich verschiedenen Abschnitten des Rings realisierbar	höherer Leitungs- und Geräteaufwand

Tafel 3.1.8. Bushierarchien

Bezeichnung	Verwendung
Integrierter Bus	interner Datentransport in hochintegrierten Schaltkreisen, wie Mikroprozessoren und Speicher
Leiterplattenbus	Verbindung von Bauelementen und Baugruppen auf Leiterplatten
Systembus	Baugruppen verbindender Bus, z. B. für die Rückverdrahtung von Mikrorechnersystemen (auch zum Aufbau von Mehrrechnersystemen)
Peripheriebus	Anschluß für die Datenverarbeitungsperipherie, wie Bildschirmgeräte, Tastaturen, Drucker und externe Speicher
Instrumentierungsbus	Anschluß für Meßgeräte, Anzeigen und Bedienelemente
Prozeßbus	Bus für den gesamten Bereich der Prozeßsteuerung. Der Bus verbindet Geräte, Einrichtungen und Anlagenteile miteinander und muß deshalb für rauhe Umgebungsbedingungen ausgelegt sein.

werden Bus genannt. Bussysteme arbeiten meist bidirektional, d. h., der Datenaustausch ist in beiden Richtungen möglich. Bussysteme gibt es in verschiedenen Ebenen, wie Tafel 3.1.8 ausweist.

Zum Aufbau einheitlicher Einrichtungen und Anlagen sowie zur problemlosen Auf- und Abrüstung sind Festlegungen über anzuwendende Bussysteme und ihre Parameter notwendig [3.35] bis [3.37]. Die Anschlüsse (Schnittstellen) sind durch die Einhaltung standardisierter Bedingungen geräteinvariant auszulegen. Eine dementsprechende Vorschrift heißt Standardinterface. Sie gibt exakt einzuhaltende Regeln vor über

- den Informationsaustausch (Art und Anzahl der Signal- und Steuerleitungen, Wortformat, Code, Zusammenwirken beim Senden und Empfangen)
- die elektrischen Bedingungen (Signalpegel, Zeitverhalten, Lastfaktoren)
- die konstruktive Ausführung (Steckverbinder, Stiftbelegung, Gefäßsystem, Kabel und Leitungen).

Die dem Informationsaustausch dienenden Signale übermitteln

- Daten (Meßwerte, Steuerbefehle und Zustandsmeldungen der Prozeßsteuerung)
- Adressen (zur Anwahl der aufzurufenden Funktionseinheiten)
- Programmierbefehle (zur Programmierung einzelner Funktionseinheiten, z. B. zur Festlegung eines Stellbereichs)
- interne Steuerbefehle (zur Organisation des Datenaustausches)
- Sonderbefehle (z. B. zur Programmunterbrechung und Prüfung).

Tafel 3.1.9. Bussysteme für Prozeßsteuerungen

Busebene	Benennung	Verwendung
Systembus	Systembus K 1520	Anschluß von Baugruppen innerhalb des Mikrorechnersystems K 1520
	Koppelbus K 1520	Kopplung von max. vier Mikrorechnern des Systems K 1520
	AMS-Bus (Multibus)	Anschluß von Baugruppen innerhalb von Mikrorechnersystemen mit dem Prozessor 8086 bzw. K 1810 WM 86
Peripheriebus	IFSP	geräteunabhängige Anschlußsteuerung byteseriell für Peripheriegeräte des SKR, Übertragungsgeschwindigkeit ≦9,6 KBd, Anschlußentfernung ≦15 m, sternförmig parallel
	IFSS	desgl., jedoch bitseriell, ≦9,6 KBd, ≦500 m, sternförmig seriell
	V. 24	geräteexternes Interface bitseriell mit internationalem Fernschreibcode, z. B. zum Anschluß von Terminals, ≦9,6 KBd, ≦15 m
Instrumentierungsbus	IFLP, IEC-Bus, IMS-2	byteserieller Bus für programmierbare Meßgeräte und -systeme, ≦500 Kbyte/s, ≦20 m, linienförmig parallel
	CAMAC	Linien- und Ketteninterface für die Labormeßtechnik, das bit- oder byteseriell in verschiedenen Varianten betrieben werden kann
Prozeßbus (Feldbus)	IFLS, PDV-Bus	bitserieller Prozeßdaten-Übertragungsbus, ≦120 Kbit/s, ≦3 km, linienförmig seriell
	ZI ASU-TP	schnelles Zwischenblockinterface (bitseriell) zur Kopplung von MR-bestückten Funktionseinheiten im System „VEM-audatec", ≦500 KBd, ≦3 km

Mikrorechnersysteme enthalten gewöhnlich Baugruppen, die Anschlußsteuerungen für Standardinterfaces realisieren. Entsprechend der Vielfalt der über Busse wahrzunehmenden Kopplungen reicht ein Standardinterface nicht aus.

Relevante Bussysteme für Prozeßsteuerungen sind in Tafel 3.1.9 zusammengestellt.

3.2. Prinzipien zur Anlagengestaltung

Die für Prozeßsteuerungen vorgesehenen Komponenten (s. auch Tafel 3.1.1) lassen eine Vielzahl von Varianten zu. Durch eine systematische Anlagengestaltung ist zu bewirken, daß sowohl der Hersteller als auch der spätere Betreiber zu einem ökonomisch vorteilhaften Ergebnis im Sinne eines volkswirtschaftlichen Optimums kommen.

Zugleich muß sich eine Prozeßsteuerung in das übergeordnete Konzept der Prozeßautomatisierung einordnen, das auch Verfahrensregelungen enthält [3.25]. In Tafel 3.2.1 sind wesentliche Merkmale beider Zweige aufgeführt [3.15]. Zur Meßwerterfassung, die als dritter Zweig der Prozeßautomatisierung gilt, wird häufig eine ausgangsseitig abgerüstete Variante der Verfahrensregelung benutzt (nur Anzeige- und Registriergeräte, keine Stellglieder).

Tafel 3.2.1. Unterscheidende Merkmale für Prozeßsteuerungen und Verfahrensregelungen

Merkmal	Prozeßsteuerungen	Verfahrensregelungen
Geforderte Reaktionszeit	klein	größer
Datenformat	Bit	Byte
Vorrangige Verarbeitungsweise	logisch	arithmetisch
Verarbeitungstiefe	groß	gering
Umfang unifizierter Algorithmen	klein	groß
Flexibilitätsforderungen	Struktur, Algorithmen	Struktur, Parameter

3.2.1. Systemlösungen

Es ist erwiesen, daß nicht Einzellösungen die volkswirtschaftlichen Bedürfnisse befriedigen, sondern daß die anstehenden Aufgaben der durchgängigen und komplexen Automatisierung im Sinne einer Systemlösung behandelt werden müssen. Es ist notwendig, den Anwendern ein geschlossenes Gesamtsystem für Großanlagen und, daraus abgeleitet, selbständige Teilsysteme für Kleinanlagen oder zur Nachrüstung zur Verfügung zu stellen. Die Teilsysteme müssen in andere Systeme einordenbar bzw. zu einem hierarchischen Gesamtsystem aufrüstbar sein. Die generellen Forderungen an das Gesamtsystem sollen in den folgenden Punkten zusammengefaßt werden.

1. Einheitliche Systemparameter und einheitliche Anlagengestaltung in elektrischer, konstruktiver und technologischer Hinsicht.

Dazu tragen bereits standardisierte Festlegungen bei, u. a. für die

- Signale (s. Tafeln 3.2.2 und 3.2.3)
  Für binäre Einheitssignale ist mit Ausnahme des TTL-Pegels noch keine internationale Festlegung mit der Konsequenz wie bei den analogen Signalen festzustellen. Bevorzugt wird aber der Wert 24 V für die obere Grenze des 1-Signals. Einheitssignale sind relevant für die Peripherie der Steuerungseinrichtung, Systemsignale für die Informationsverarbeitung.
- Stromversorgung (s. Tafel 3.2.4)
- Unterbringung in einem einheitlichen Gefäßsystem (Einsatz des EGS [3.38], s. a. Abschn. 5.1.2.)
- Umgebungsbedingungen (s. Abschn. 3.3.1.).

Tafel 3.2.2. Bevorzugte Einheitssignale bei Nennbedingungen (die nicht eingeklammerten Werte sind zu bevorzugen)

Bezeichnung	Bereich des Informationsparameters		Verwendung
Analoge Einheitssignale	(0 ... 5 mA) (−5 ... 0 ... +5 mA) 0 ... 20 mA (−20 ... 0 ... +20 mA) 4 ... 20 mA		Stromsignale für die Informationsgewinnung und -übertragung bei mittleren Entfernungen (<5 km)
	0 ... 10 V (−10 ... 0 ... +10 V)		Spannungssignale für die Informationsverarbeitung
Binäre Einheitssignale	0-Signal	1-Signal	
	0	(12 V) 24 V 48 V (60 V)	Spannungssignale für kontaktbehaftete Signalgeber
	0 ... ≈5 V	≈10 ... 24 V	Spannungssignale für Steuerungseinrichtungen
	A: 0 ... 0,4 V E: 0 ... 0,8 V	A: 2,4 ... 5 V E: 2,0 ... 5 V	Spannungssignale für die interne Informationsverarbeitung (TTL-Pegel)

A am Ausgang auftretend; E am Eingang zulässig

Tafel 3.2.3. Systemsignale der Baugruppensysteme nach Abschnitt 4. bei Nennbedingungen

Bezeichnung des Systems	0-Signal	1-Signal
RELOG	0 V	12, 24, (42), 48, 60, 110, 220 V GS
	0 V	24, 42, 60, 110, (127), 220 V WS
TRANSLOG 2	A: 0 ... 0,5 V E: 0 ... 1,3 V	A: 7 ... 12 V E: 5,25 ... 12 V
ursalog 4000 ursalog 5010	A: 0 ... 1,0 V E: 0 ... 5,5 V	A: 20,2 ... 24 V E: 9,3 ... 24 V
ursalog 5020	*intern*: entsprechend Systembus des Mikrorechners K 1520; *extern*: entsprechend Interfacesteuerung für die Robustperipherie	

A am Ausgang auftretend; E am Eingang zulässig

Eine Standardisierung der technologischen Parameter hat die rationelle Fertigung, Errichtung, Prüfung und Inbetriebsetzung der Anlagenteile und der Anlagen zum Ziel und ist meist in erzeugnisgebundenen, betrieblichen Standards festgelegt, wie es beim System VEM-audatec [3.39] [3.40] der Fall ist.

Tafel 3.2.4. Spannungsniveau der Stromversorgung für die Baugruppensysteme nach Abschnitt 4.

Bezeichnung des Systems	Versorgungsspannung (Nennspannung)	
	Signalverarbeitung	Signalausgabe
RELOG	entsprechend der Spannung für das 1-Signal nach Tafel 3.2.3	
TRANSLOG 2	12 V	24, 48, 60 V
ursalog 4000	24 V	48, 60 V
ursalog 5010	24 V	24 V
ursalog 5020	Einspeisung 220 V WS über integrierte Stromversorgungsmodule	

2. Auf- und Abrüstbarkeit durch den Einsatz einer modularen Gerätetechnik (Hardware) mit flexibler Peripherie und flexibler Programmtechnik (Software)

Eine Orientierung auf moderne, umfassende Gerätesysteme, die in den Abschnitten 4.1. bis 4.3. vorgestellt werden, schafft für dieses Anliegen die notwendige Basis. Durch eine enge Zusammenarbeit zwischen Geräte- und Anlagenentwickler ist eine ständige Aktualisierung vorzunehmen, die insbesondere durch die Bereitstellung immer leistungsfähigerer Bauelemente herausgefordert wird.

Für die einzelnen Gerätesysteme gibt es weitere Festlegungen zu den Systemparametern, die über die unter 1. genannten hinausgehen, wie Bürde, Lastfaktor, Überlastungsgrenzen und Zuverlässigkeitskenngrößen.

3. Einfache Programmiertechnologien

Dazu sind folgende Forderungen zu erfüllen (s. a. Abschn. 6.3.2.):

- Durchführung der Projektierung/Programmierung ohne detaillierte EDV-Kenntnisse (z. B. „Listenprogrammierung" von Programmpaketen statt freier Programmierung)
- Weiterverwendung eingeführter und bewährter Projektierungsprinzipien
- Dezentralisierung der zur Projektierung/Programmierung notwendigen EDV (arbeitsplatzbezogene Bildschirmterminals).

4. Definierte Hardware- und Software-Schnittstellen zwischen den Teilsystemen und zur Peripherie

Ziel ist das problemlose Zusammenwirken der Teilsysteme untereinander und mit anderen Systemen.

Hardware-Schnittstellen: Einheitssignale, Interface der Mikrorechentechnik (Abschn. 3.1.3.)
Software-Schnittstellen: Übergabeprozeduren für modulare Programmbausteine und ihre Einbindung in ein einheitliches Betriebssystem (s. a. Abschn. 6.4.4.)

Die Standardisierung der Schnittstellen ist zunehmend notwendig, weil

- die Anlagensysteme ständig größer werden und
- mehr Informationen ausgetauscht werden müssen sowie
- bei ihrer Einhaltung erhebliche Einsparungen bei der Projektierung, Inbetriebnahme und Wartung eintreten.

5. Einheitliche Bedienstrategie für alle Automatisierungsprobleme durch funktionell und ingenieurpsychologisch gleichartige Pult- und Wartenkonzeption

Ausgehend von einer einheitlichen Signalordnung und umfangreichen ergonomischen und anthropotechnischen Untersuchungen, sind völlig neue Prinzipien erarbeitet worden [3.41] bis [3.44],

die beim Einsatz von intelligenten, mikrorechnergesteuerten Bedienpulten mit Bildschirmeinheiten zum Tragen kommen. Dabei sind vergleichbare und paßfähige Bedienregime bei den Haupteinsatzgebieten zu verwenden, s. auch Abschnitt 5.4.

6. Einheitliche Projektdokumentation

Eine gut strukturierte Dokumentation, die auf der Grundlage bewährter Projektierungsvorschriften entstanden ist, stellt eine wesentliche Voraussetzung für die Wirksamkeit eines Automatisierungssystems dar, s. a. Abschnitt 6.4.

7. Möglichkeit zur unabhängigen Inbetriebnahme der Teilsysteme

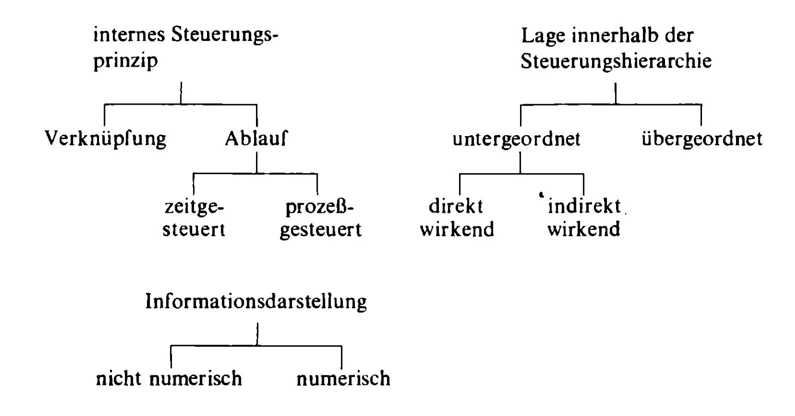
Diese Forderung ist bei hierarchisch gegliederten Prozeßsteuerungen leicht zu realisieren (Vor-Ort-Steuerung; Betreiben von Funktionsgruppen), s. a. Abschnitt 7.

Trotz zahlreicher Vorschriften sind die Freiheitsgrade bei der Gestaltung von Prozeßsteuerungen immer noch so groß, daß auf eine Reduzierung auf das unbedingt notwendige Maß unter Beibehaltung bewährter Parameter konsequent geachtet werden muß.

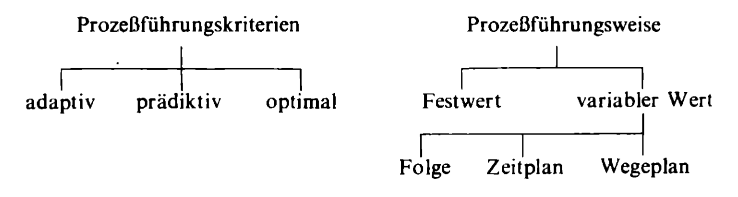
3.2.2. Problemlösungen

Aus Systemlösungen sind für bestimmte Aufgabenklassen zugeschnittene Lösungen, die auch als Problemlösungen bezeichnet werden, ableitbar. Problemlösungen in unserem Sinn beinhalten demzufolge spezialisierte Prozeßsteuerungen, die nach verschiedenen Merkmalklassen formierbar sind:

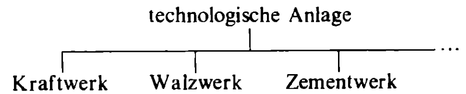
1. Merkmale der Steuerung



2. Merkmale der Prozeßführung



3. Merkmale des Einsatzgebietes



Die Merkmale der beiden ersten Klassen sind in Tafel 3.2.5 näher erläutert. Die Merkmale sind meist kombiniert vorhanden, auch innerhalb einer Klasse.

Tafel 3.2.5. Merkmale automatischer Steuerungen (ausgehend von TGL 14591)

Steuerung	Merkmal
Ablaufsteuerung	schrittweiser Ablauf des Steuerprogramms, wobei das Weiterschalten auf den nächsten Programmschritt von der Erfüllung von Weiterschaltbedingungen abhängig ist, entweder als – zeitgeführte Ablaufsteuerung (Weiterschalten von der Zeit abhängig) – prozeßgeführte Ablaufsteuerung (Weiterschalten von Rückmeldesignalen des gesteuerten Prozesses abhängig)
Adaptive Steuerung	selbsttätige Anpassung an unvorhergesehene Betriebsbedingungen zur Erfüllung eines vorgegebenen Gütekriteriums; die Anpassung kann durch Parameter- oder Strukturänderung der Steuerung erfolgen
Direkt bzw. indirekt wirkende Steuerung	direkte Einwirkung auf den zu steuerenden Prozeß (z. B. bei einer Antriebssteuerung) bzw. Einwirkung über nachgeordnete Ebenen
Festwertsteuerung	ständige Angleichung der gesteuerten Prozeßgrößen an vorgegebene konstante Führungswerte (vorzugsweise als Aufgabenstellung für Regelungen)
Führungssteuerung (Folgesteuerung)	Angleichung der gesteuerten Prozeßgrößen an variable Führungswerte, deren zeitlicher Verlauf vorher nicht bekannt ist, z. B. bei der digitalen Sollwertvorgabe für drehzahlgeregelte Antriebe
Nichtnumerische Steuerung	Führungs- bzw. Stellsignale sind i. allg. nicht wortweise organisiert und ohne feste Zuordnung zu einem bestimmten Code
Numerische Steuerung	Führungs- bzw. Stellsignale sind durch Wörter eines numerischen oder αn-Codes dargestellt
Optimale Steuerung	realisiert Extremwert eines Gütefunktionals für den zu steuernden Prozeß
Prädiktive Steuerung	fortlaufende Bildung des wahrscheinlichen künftigen Werteverlaufs von Signalen und ihre Nutzung zum Steuern mit „Trend". Die Signalbildung wird mit einem Schätzalgorithmus, ausgehend von den aktuellen Werten, vorgenommen.
Übergeordnete bzw. untergeordnete Steuerung	Bildung von Führungssignalen für eine in der Hierarchie nachgeordnete Ebene bzw. Entgegennahme von Führungssignalen
Wegeplansteuerung	Steuern nach einem vorher bekannten Weg (z. B. Start-Ziel-Steuerung)
Verknüpfungssteuerung	Stellsignale hängen zu jedem Zeitpunkt nur von den anliegenden Führungssignalen ab. Die Steuerung enthält nur kombinatorische Glieder.
Zeitplansteuerung	Steuern nach einem vorher bekannten zeitlichen Ablauf

3.2.3. Gestaltungsprinzipien

Bestandteil aller Prozeßsteuerungen sind Ablaufsteuerungen. Das Prinzip des zeit- oder prozeßgeführten schrittweisen Abarbeitens ist insbesondere für alle Anfahr- und Abfahrvorgänge unumgänglich. Wie aus Tafel 3.2.5 hervorgeht, besteht die Arbeitsweise darin, daß ein Steuerprogramm in Etappen (Ablaufschritten) abgearbeitet wird. Man verwendet die folgenden Begriffe.

Ablaufschritt, Taktkettenschritt, Programmschritt, Schritt: Kleinste funktionelle Einheit des Programms bei Ablaufsteuerungen. Jedem Schritt ist ein Ablaufglied zugeordnet.

Ablaufglied, Taktkettenglied: Kombinationsglied, das die für einen Ablaufschritt notwendigen Programme realisiert. Das Ablaufglied enthält immer ein Speicherglied, das durch die Weiterschaltbedingungen (Fortschaltbedingungen) gesetzt wird, und Logikglieder, die nach dem Setzen des Speichers die Ausführung des Programmablaufs übernehmen.

Ablaufkette, Taktkette: Steuerwerk für eine Ablaufsteuerung. Jeder Speicher wird nach dem Setzen der vorhergehenden zurückgesetzt, und die Freigabe des nächsten Speichers wird vorbereitet.

Es werden verschiedene Arten von Ablaufschritten unterschieden.

Ablaufschritt mit Steuerbefehlen: Bei Aktivierung des n-ten Schrittes werden Steuerbefehle ausgelöst, z. B. Motor „ein", Ventil während der Zeitdauer des Schrittes n „zu".

Ablaufschritt mit Steuerbefehlen und Zeitbedingungen: Nach Einleitung des n-ten Schrittes wird kontrolliert, ob innerhalb der Überwachungszeit $t_ü$ der Befehl ausgeführt wird, z. B. Öffnen einer Ventilklappe. Hat die Ventilklappe in der Zeit $t \leqq t_ü$ ihre Endlage nicht erreicht, erfolgt Störmeldung.

Ablaufschritt mit Rückmeldebedingungen: Die nächste $(n + 1)$-te Teilaufgabe wird erst dann in Angriff genommen, wenn alle Weiterschaltbedingungen erfüllt sind, d. h. Befehle vom n-ten Schritt ausgeführt und Rückmeldungen vom technologischen Prozeß vorliegen, z. B. Streckenstellgröße hat vorgegebenen Wert erreicht.

Beispiele von Ablaufsteuerungen sind in den Abschnitten 4.2.3.7., 5.3.1. und 6.2.2. beschrieben.

Wesentliche Merkmale von Ablaufsteuerungen sind:

- Von n Ablaufgliedern ist immer nur eins aktiviert.
- Es wird nur dann zum nächsten Ablaufglied weitergeschaltet, wenn alle dafür notwendigen Bedingungen erfüllt sind.
- Die Zuordnung genau festlegbarer Weiterschaltbedingungen zu bestimmten Ablaufgliedern führt sowohl beim Entwurf als auch beim späteren Betrieb zu einer großen Transparenz der Steuerung.

Die einfachste Form des Programmablaufs besteht darin, daß die einzelnen Ablaufschritte zeitlich hintereinander abgearbeitet werden. Meist ist solch ein linearer Ablauf für die Erfüllung der Aufgabenstellung nicht ausreichend. Es ist dann eine Kombination von linear fortschaltenden Ab-

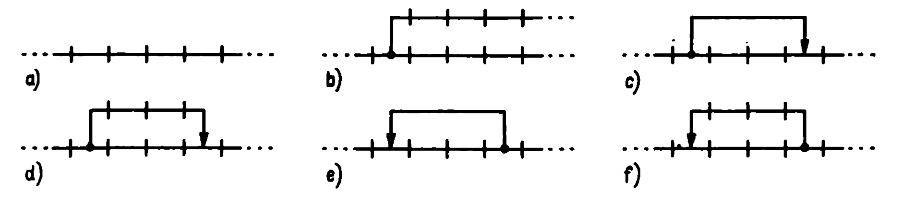


Bild 3.2.1. Programmabläufe. Die Strecke zwischen zwei Marken charakterisiert einen Programmschritt

a) Linearprogramm; b) Linearprogramm mit offener Verzweigung; c) Linearprogramm mit Überspringen von Schritten; d) Linearprogramm mit geschlossener Verzweigung; e) Linearprogramm mit einfacher Wiederholung (Schleife); f) Programm mit Schleife und Programmschritten in der Schleife

laufschritten mit Verzweigungen und Sprüngen zu anderen notwendig. Bild 3.2.1 weist auf solche Möglichkeiten hin.

Reale Prozeßsteuerungen kommen mit einer Ablaufsteuerung nicht aus. In der Funktionsgruppensteuerebene werden dann mehrere Ablaufsteuerungen vorgesehen, deren Koordinierung eine übergeordnete Funktionseinheit aus der Leitebene übernehmen muß.

Die Verteilung der Aufgaben auf mehrere Ablaufsteuerungen (funktionelle Dezentralisierung) kann auch mit einer örtlichen Dezentralisierung der dazugehörigen Gerätetechnik verbunden sein. Dafür lassen sich zwei Grundvarianten aufstellen, deren Anwendung vor allem durch ökonomische Gesichtspunkte bestimmt wird (Tafel 3.2.6):

- totale örtliche Dezentralisierung, d. h. Anordnung an den Meß- und Stellgliedern
- partielle örtliche Dezentralisierung, z. B. durch Zusammenfassung von Funktionsgruppen in Vor-Ort-Steuerungen.

Tafel 3.2.6. Aufwandsvergleich örtlich zentralisierter und dezentralisierter Systeme

Aufwand	Örtlich zentralisiert	Örtlich dezentralisiert
Kabelaufwand	hoch	nimmt erheblich ab
Örtlicher Bedienungs-, Wartungs- und Reparaturaufwand	gering	nimmt ab
Anforderungen an die Einsatzklasse der Bauelemente und Geräte	normal	erhöhte Anforderungen an die Einsatzklasse
Aufwand für die Gefäßtechnik	normal	steigt extrem, z. B. bei Ex-Schutz

Mit der Einführung der Lichwellenleitertechnik kann bei Annahme sinkender Kosten für die Lichtwellenleiterkabel und bei Bereitstellung direkter optischer Geber, die keine elektrische Hilfsenergie benötigen, der Trend wieder zur Zentralisierung gehen, d. h. zur zusammengefaßten Unterbringung der elektronischen Ausrüstung in geschützten Räumen.

Generell werden durch verteilte hierarchische Anlagenstrukturen alle Haupteigenschaften von Prozeßsteuerungen, die von der Struktur her bestimmt werden können, positiv beeinflußt und ökonomisch realisierbar im Sinne einer verbesserten

- Informationsübertragungsleistung (mehr Kanalkapazität; mehr bit/s)
- Informationsverarbeitungsleistung (mehr Operationen/s)
- Echtzeitreaktion (kürzere Reaktionszeiten auf Zustandsänderungen und Störgrößen)
- Verfügbarkeit (Steigerung des Anteils der Betriebszeit)
- Bedien- und Wartbarkeit (geringe Anzahl und Qualifikation des Bedienungs- und Wartungspersonals je Anlage)
- Programmierbarkeit (verkürzte Umrüstzeit auf andere Produktionsprogramme bzw. auf verbesserte Algorithmen zur Prozeßführung bei Einsatz speicherprogrammierbarer Steuerungen)
- Projektierung (Einsparung von Arbeitszeit infolge der gesteigerten Modularität und des reduzierten Wartenumfangs)
- Fertigung (Einsparung von Material und Arbeitszeit, insbesondere bei der Verkabelung).

Durch die zwangsläufige Modularität verteilter Systeme ist die Standardisierung von Subsystemen und bis zu einem gewissen Grad ganzer Anlagen möglich [3.45] [3.46].

3.2.4. Programmrealisierung

Hinsichtlich der Programmrealisierung werden Prozeßsteuerungen in die Klassen „verbindungsprogrammiert" und „speicherprogrammierbar" eingeteilt, Bild 3.2.2.

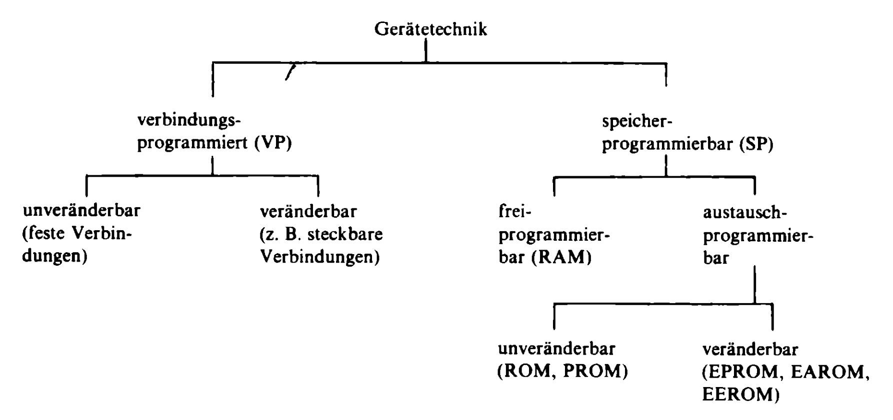


Bild 3.2.2. Programmrealisierung bei Geräten und Steuerungen

Bei den verbindungsprogrammierten Steuerungen (VPS) wird die eingesetzte Gerätetechnik gemäß dem Programmablauf miteinander verdrahtet, d. h., das Programm für eine bestimmte Steuerungsaufgabe ist in der Verdrahtung enthalten.

Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS) verfügen über eine zentrale Verarbeitungseinheit (ZVE, meist von einem Mikrorechner), in deren Speicher das Programm hinterlegt ist, das seriell abgearbeitet wird. Das Programm von speicherprogrammierbaren Steuerungen kann in folgenden Formen vorliegen:

- festprogrammiert, d. h. der ZVE unveränderbar fest zugeordnet
  katalogprogrammierbar
  Für bestimmte Aufgabenklassen sind fertig programmierte Speicherschaltkreise verfügbar, deren Eigenschaften in einem Katalog beschrieben sind und die in die gedruckte Schaltung auf Fassungen gesteckt oder eingelötet werden (als spezielle Form der Software-Bereitstellung auch „Firmware" genannt).
- variabel programmierbar, d. h., in der Phase der Projektierung muß das Programm erarbeitet werden.

Im Anlagenbau wird angestrebt, den variabel programmierbaren Anteil möglichst gering zu halten (<5 ... 10%), d. h. konfektionierte, standardisierte Anwender-Software einzusetzen.

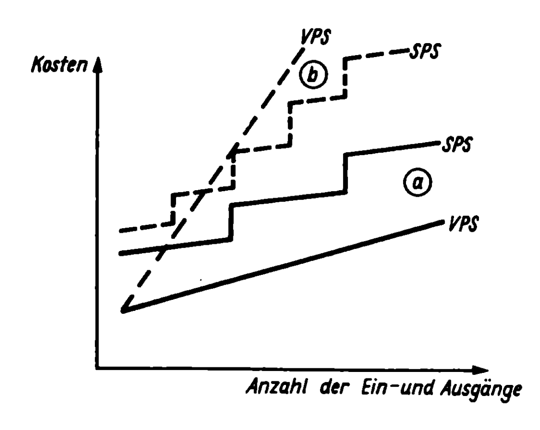


Bild 3.2.3
Vergleichende Kostenfunktion für den Einsatz von VPS und SPS

Kurvenzüge (*a*): geringe Verarbeitungstiefe
Kurvenzüge (*b*): größere Verarbeitungstiefe

Generell ist zu beachten, daß der Einsatz von SPS einen bestimmten Grundaufwand erfordert, der sich stufenweise durch die Hinzunahme weiterer Baugruppen erhöht (ZVE mit Speichern und Eingabe- und Ausgabebaugruppen), Bild 3.2.3. Zeitkritische Prozesse im Echtzeitbetrieb können mitunter so bestimmend sein, daß sie auch mit mehreren, parallel arbeitenden SPS nicht lösbar sind und ganz oder teilweise der Übergang zu einer zweckgebundenen verbindungsprogrammierten Lösung notwendig ist.

3.2.5. Zuverlässigkeitserhöhende Maßnahmen

Unter Zuverlässigkeit versteht man nach TGL 32800/02 die Eigenschaft eines technischen Systems, unter definierten Umgebungs- und Funktionsbeanspruchungen während einer vorgegebenen Zeitdauer unter Einhaltung festgelegter Grenzen für die Betriebskennwerte die vorgegebenen Funktionen oder Aufgaben zu erfüllen. Ein Fehler liegt vor, wenn die Steuerung mindestens eine nach Aufgabenstellung verlangte Forderung nicht erfüllt. Fehler bewirken eine Programmabweichung. Die Fehlerarten wurden bereits in Tafel 3.1.4 vorgestellt. Es gibt

- stochastische Fehlerursachen, die unvorhergesehen durch Störbeeinflussung (s. Abschnitt 6.3.3.1.) oder Bauelementeausfälle auftreten. Für ihr Auftreten ist eine Wahrscheinlichkeit angebbar.
- systematische Fehlerursachen, die durch technische Mängel der Steuerung bedingt sind, wie fehlerhafter Steueralgorithmus, Versagen an der oberen Temperaturgrenze. Die dadurch verursachten Fehler sind durch gezielte Beobachtung feststellbar und behebbar oder bei Nichtbehebung kalkulierbar.

Zur Beschreibung der Zuverlässigkeit dienen Kenngrößen, die in TGL 32800/02 enthalten sind. Dort sind 21 Zuverlässigkeitskenngrößen aufgeführt.

Zur Erhöhung der Zuverlässigkeit von Steuerungen sind neben konventionellen Maßnahmen, wie regelmäßige Funktionskontrolle und Instandhaltungsarbeiten sowie Betrieb bei möglichst niedrigen Umgebungstemperaturen durch ausreichende Kühlung und Lüftung, folgende spezielle Methoden üblich:

- Fehlererkennung (Diagnose) und gegebenenfalls automatische Korrektur bei der Übertragung und Verarbeitung wortweise organisierter Signale (Paritätsprüfung mit Zusatzbit, das dem Binärwort so zugefügt wird, daß je nach Vereinbarung die Anzahl der mit 0 oder 1 beauflagten Binärstellen gerade oder ungerade ist, international als Parity-Check bezeichnet)
- Aufbau von sicherheitsgerichteten Steuerungen, die bei Auftreten von Fehlern einen Menschen und Sachwerte nicht gefährdenden Zustand einnehmen;
- Anwendung redundanter Steuerungen bei sehr hohen Anforderungen (analog der (n aus m)-Auswahl bei der Signalübertragung, auch mit dem Ziel der dynamischen Aufgabenverteilung).

Sicherheitsgerichtete Steuerungen lassen sich nach folgenden Prinzipien ausführen:

Fail-safe-Steuerung

Einkanalige VPS mit dynamischem 1-Signal und statischem 0-Signal. Die Glieder sind so dimensioniert, daß bei Bauelementefehlern immer ein statisches 0-Signal entsteht (spezielle Logikglieder erforderlich, s. z. B. [3.47]).

Redundante Steuerung mit Vergleicherkette

Mehrkanalige parallel arbeitende VPS oder SPS mit Vergleichergliedern. Bei antivalenten Zwischen- oder Ausgangssignalen wird ein dem Anwendungsfall entsprechendes Maßnahmeprogramm ausgelöst.

Tafel 3.2.7. Sicherheitsprogramme für SPS

Methode	Prinzip
ROM-Test mit Signaturanalyse	Der Speicherinhalt wird blockweise nacheinander in ein Register geladen, dessen Belegung mit der eines Vergleichs-ROM verglichen wird
ROM-Test mit CRC-Check	Vom Inhalt des Speichers wird mit einem sog. Generatorpolynom (Berechnungsvorschrift) eine Kontrollsumme gebildet, deren Bitmuster wie bei der Signaturanalyse mit einem vorher errechneten und abgespeicherten Ergebnis verglichen wird.
RAM-Test	Die eingelesenen Daten werden ausgelagert. Der RAM wird mit 0 geladen und nacheinander ein Bit der Wertigkeit 1 durchgeschoben. Nach jeder Verschiebung wird geprüft, ob die 1 richtig eingeschrieben wurde und ob ein Übersprechen auf andere Speicherstellen stattgefunden hat (Überprüfung durch Rotation). Danach erfolgt das Laden mit 1 und das Durchschieben der 0 (Bit-walking-Test).
Register-Test des MP	Durch ein Testprogramm werden alle Register auf Setz- und Rücksetzen sowie auf Übersprechen geprüft.
Test der Recheneinheit des MP	Es wird eine Testaufgabe durchgerechnet, bei der alle notwendigen Operationen des MP aktiviert werden und das Ergebnis mittels Signaturanalyse mit einem Normergebnis verglichen wird.
Zeitüberwachung des MP	Die Zeit, die ein MP für bestimmte, häufig vorkommende Operationen braucht, wird durch eine autonome Überwachungseinheit kontrolliert, z. B. durch Auszählen der beanspruchten Taktimpulse (Watch-dog-Test).

Anmerkung: ROM steht allgemein für Festwertspeicher, d. h., PROM, EPROM, EEROM und EAROM können gleichermaßen getestet werden.

Steuerungen mit Diagnoseprogrammen

Ein- oder mehrkanalige SPS, bei der oder denen laufend durch prozeßunabhängige Diagnoseprogramme ein Austesten auf Funktionsfähigkeit vorgenommen wird, s. Tafel 3.2.7. Bei abweichenden Ergebnissen überführt die sicherheitsgerichtete Steuerung das zu steuernde System in einen ungefährlichen Zustand.

Bewährt hat sich eine zweikanalige Ausführung/Anordnung, die synchron arbeitet und deren Eingangs- und Ausgangsglieder sowie Geber und Stellglieder bausteinfehlersicher ausgeführt sind [3.47] bis [3.49]. Bei Verzicht auf weiteres sicherheitsgerichtetes Verhalten kann eine zweikanalige SPS auch so ausgelegt werden, daß nach einem erkannten Fehler in einer SPS die andere SPS allein weiterarbeitet. Das erhöhte Sicherheitsrisiko ist dann durch andere geeignete Maßnahmen, wie ständige Beobachtung des Steuerungsablaufs durch das Bedienungspersonal, klein zu halten, bis die Instandsetzung der ausgefallenen SPS abgeschlossen ist.

Halbleiterspeicher und Mikroprozessoren haben eine undefinierte Ausfallrichtung, so daß auch ohne besondere Sicherheitsanforderungen die in der Tafel 3.2.7 aufgeführten Testroutinen (Überwachungsprogramme) angebracht sind. Die Überwachung ist periodisch und zyklisch durchzuführen. Generell lassen sich mit Mikrorechnern Sicherheitssysteme aufbauen, die weitergehende Funktionen zur Abwendung gefährlicher Zustände übernehmen [3.50].

Mit weiteren Maßnahmen zur Erhöhung der Zuverlässigkeit befaßt sich das VEM-Handbuch „Zuverlässigkeit" [3.51].

3.2.6. Systemparameter

Zur Charakterisierung von Prozeßsteuerungen ist eine repräsentative Auswahl von Parametern festlegbar, deren Bewertung auch Aufschluß über die Leistungsfähigkeit unterschiedlicher Er-

zeugnisse gibt. Eine Zuordnung der Parameter zu verschiedenen Klassen ist zweckmäßig. Üblich ist eine Gliederung nach funktionellen, elektrischen und konstruktiven Parametern sowie nach Gebrauchseigenschaften. Für diese Klassen sollen einige Anhaltspunkte gegeben werden.

Funktionelle Parameter

Informationsverarbeitung	• Informationsdarstellung (analog, binär, digital) • logische Realisierung (kombinatorisch, sequentiell) • Betriebsart der Logik (ungetaktet, getaktet, statisch, dynamisch)
Funktionsprinzip	• Steuerungsprinzip (Verknüpfung, Ablauf) • hierarchische Gliederung (Gestaltung der Ebenen) • Prozeßführungskriterien (adaptiv, prädiktiv, optimal) • technologisches Einsatzgebiet (Kraftwerke, Walzwerke, Zementwerke u. a.)

Elektrische Parameter

Bestimmende Bauelementebasis	• Relais, Schütze • elektronische Baugruppen • Mikrorechnerbaugruppen
Signalgewinnung	• Art der Signaleingabe (kontaktlos, prellfrei) • Anzahl der Eingänge • Spannungsniveau der Geber
Signalübertragung	• Übertragungssystem (drahtgebunden oder mit Lichtwellenleitern) • Störfestigkeit der Übertragungsstrecke • zulässige Länge der Übertragungsstrecke • Verwendung von Datenbahnen bzw. Standardinterface (Anzahl der anschließbaren Stationen) • Übertragungsgeschwindigkeit • redundante Auslegung der Datenbahn • Verwendung von Einheitssignalen
Signaleingabe	• Stör- bzw. Zerstörfestigkeit der Eingänge der Steuerungseinrichtung • Entkopplung vom Prozeß (galvanische Trennung, Entstörung)
Signalverarbeitung	• Verarbeitungstiefe • Echtzeitverhalten (Reaktion auf Zustandsänderungen, Grenzfrequenz) • Taktfrequenz • Haftverhalten • Programmrealisierung (VPS, SPS) • Betriebsarten (Hand, Automatik) • Sicherheitsverhalten (Redundanz, fail safe)
Signalausgabe	• Anzahl der Ausgänge • Entkopplung von der Steuerungseinrichtung (Potentialtrennung) • geschützte Ausgänge (abgesichert, überlast- bzw. kurzschlußfest) • Verbindung mit Standardinterface
Signalnutzung	• Bedienregime (Arbeit an konventionellen Bedienpulten oder rechnergestützte Dialogführung mit Bildschirmgeräten) • Dokumentation und Archivierung des Prozeßablaufs einschl. Störmeldungen (flüchtige Anzeige oder Protokoll) • Reaktionszeit der Meldung von Zustandsänderungen
Stromversorgung	• Art der Einspeisung (Batterie, Netz) • Verhalten bei Ausfall der Hauptversorgung (unterbrechungsfreie Versorgung) • spezifischer Leistungsbedarf

Konstruktive und technologische Parameter

Gefäßsystem	• modularer Aufbau (Leiterplattenformate, Steckverbinder)
	• größte austauschbare Einheit (z. B. Baugruppeneinsätze)
	• Standardisierungsgrad
	• Umgebungsbedingungen
	• Schutzgrad und -art
	• Einhaltung von Sondervorschriften wie DSRK und Ex-Schutz
Technologie	• Bestandteil eines Erzeugnissystems mit großer Anwendungsbreite
	• Projektierungsmethodik (katalog- oder rechnergestützt)
	• Einzel- oder Serienfertigung
	• Prüftechnologie
	• Inbetriebsetzungsmethodik

Gebrauchseigenschaften [3.52]

Zweckbestimmung	• Realisierung der in der Aufgabenstellung verlangten Funktionen
	• erzielbare Prozeßgenauigkeit
	• Prozeßanpassung
	• Bedienkomfort
	• Einsatzklassen
	• Sicherheit vor Fehlbedienungen
	• Transport- und Lagerfähigkeit
	• Qualifikation des Bedienungs- und Wartungspersonals
Zuverlässigkeit	• Anlagenzuverlässigkeit
	• Einfluß auf die Zuverlässigkeit des technologischen Prozesses
	• Wartungshilfen
	• Wartungsaufwand
Standardisierung	• Standardisierungsgrad
	• Aufwand für die Umrüstung der Hard- und Software (bei Programmänderungen)
	• Nachrüstbarkeit
	• Kompatibilität zu anderen Systemen
Umwelt	• Platzbedarf
	• Anforderungen an die Energieversorgung
	• Arbeitsplatzgestaltung
Formgestaltung	• Formgestaltung
	• Farbgebung
	• Verarbeitungsqualität

3.3. Betriebsbedingungen und Standards

Im Vergleich zu stationären Einrichtungen der kommerziellen Informationsverarbeitung, wie EDVA, sind Prozeßsteuerungen verschärften Betriebsbedingungen unterworfen, die durch die direkte Verbindung mit dem technologischen Prozeß bedingt sind. Charakteristische Einflußgrößen sind insbesondere das Klima am Aufstellungsort, elektromagnetische Störfelder verschiedener Intensität und die von Fall zu Fall differierenden Anforderungen an die Zuverlässigkeit der Steuerung.

Die funktionellen und konstruktiven Parameter, die mit dem Anlagenbetreiber vereinbart worden sind, müssen auch unter den o. g. jeweiligen äußeren Anforderungen Bestand haben. Zur Gewährleistung dieser Anforderungen sind entsprechende Vorschriften einzuhalten, die u. a. in ständig aktualisierten Projektierungs- und Inbetriebsetzungsvorschriften [3.53] zusammengefaßt werden. Allgemein interessierende Betriebsbedingungen sind die Umgebungsbedingungen, die Schutzgrade und die Schutzarten.

3.3.1. Umgebungsbedingungen

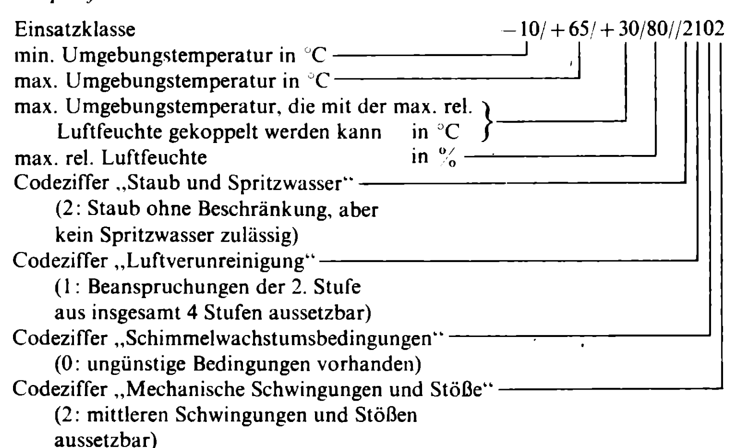
Jede Steuerung wird in einer bestimmten Umgebung installiert und betrieben, gewöhnlich in einem geschlossenen Raum (mindestens Werkhalle, häufig in einem gesonderten elektrotechnischen Betriebsraum).

Eine „Vorab"-Auslegung der Steuerung für alle zu erwartenden Umgebungsbeanspruchungen ist unökonomisch. Der technische Aufwand wäre zu hoch (extreme Forderungen an die Beständigkeit und Toleranzhaltigkeit der elektronischen Bauelemente, Leitungen und Gefäße). Im Sinne eines technisch-ökonomischen Optimums wird von einer Normalausführung für die gemäßigte Klimazone ausgegangen, die den Hauptanforderungen entspricht. Höhere Forderungen sind durch geeignete andere Maßnahmen abzufangen, z. B.

technische Klimazone	mögliche zusätzliche Maßnahme
trockenwarm	Lüftung, Kühlung
kalt	Heizung
feuchtwarm	vollklimatisierter Betriebsraum

Die Einsatzbeanspruchung von Prozeßsteuerungen wird hauptsächlich durch die mikroklimatischen Verhältnisse sowie durch die mechanische Beanspruchung bestimmt und nach TGL 9200/03 durch *Einsatzklassen* festgelegt. Die Klassen werden aus durch Schrägstriche getrennten Einsatzgrenzwerten der klimatischen Parameter und den zu einer Gruppe zusammengefaßten Codeziffern gebildet (s. Beispiel).

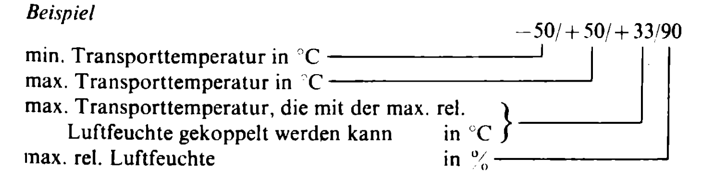
Beispiel für Einsatzklasse



Beanspruchung bei Transport und Lagerung

Die zulässige Beanspruchung in bezug auf Temperatur und die höchste Temperatur-Feuchte-Kopplung kann analog zur Einsatzbeanspruchung notiert werden.

Beispiel



Beanspruchung bei der Prüfung

Diese Beanspruchung wirkt für die Dauer der Prüfung, die nach standardisierten Verfahren in speziellen Prüfeinrichtungen vorgenommen wird.
Klassifizierung der klimatischen Prüfung: s. TGL 9200/02
Klassifizierung der mechanischen Prüfung: s. TGL 200-0057/04.

3.3.2. Schutzgrade und Schutzarten

Der *Schutzgrad* kennzeichnet den Grad des mechanischen Schutzes der Geräte und Anlagen gegen Berührung und das Eindringen von Fremdkörpern und Wasser. Der Schutzgrad bezieht sich sowohl auf mechanische bewegte als auch auf spannungführende Teile im Inneren. Nach TGL RGW 778 erfolgt die Kennzeichnung des Schutzgrades durch die vorangestellten Buchstaben „IP" und zwei anschließende Codeziffern, z. B.

IP 4 3

Codeziffer für Berührungs- und Fremdkörperschutz — 4
Codeziffer für Wasserschutz — 3

Mit steigender Codeziffer nimmt der Schutzgrad zu.

Unter *Schutzart* versteht man die Kennzeichnung der konstruktiven, elektro- und wärmetechnischen Maßnahmen in elektrotechnischen Erzeugnissen, die eine Explosion ausschließen. Schutzarten sind

— Fremdbelüftung
— druckfeste Kapselung
— erhöhte Sicherheit
— Eigensicherheit.

Während die drei zuerst genannten Schutzarten im wesentlichen gezielte konstruktive Maßnahmen bei sonst gleicher elektrischer Auslegung beinhalten, nimmt die Schutzart „Eigensicherheit" vorrangig Einfluß auf die elektrische Auslegung der Stromkreise.

Definition der Eigensicherheit nach TGL 19491/10: „Eigensicherheit ist eine Schutzart, bei der die Stromkreise elektrisch so ausgelegt sind, daß die bei normalem Betrieb und bei Beschädigungen, wie Kurzschluß, Unterbrechnung, entstehenden Funken und Erwärmungen nach dem in TGL 19491/10 festgelegten Prüfverfahren unfähig sind, die Zündung eines explosiven Gas- oder Dampf-Luft-Gemisches zu bewirken. Die Eigensicherheit wird erreicht durch Begrenzung der elektrischen Verhältnisse und durch spezielle konstruktive Maßnahmen."

Mit straffen gesetzlichen Bestimmungen soll eine Gefährdung von Menschen und Sachwerten ausgeschlossen werden. So ist gesetzlich vorgeschrieben, daß

— neuinstallierte Anlagen mit eigensicheren Stromkreisen von den zuständigen Organen der Technischen Überwachung abzunehmen sind
— eine regelmäßige Revision vom Betreiber durchgeführt wird und
— Instandsetzungen und Änderungen nur von besonders zugelassenen Werkstätten erfolgen dürfen. Die Zulassung der Werkstätten ist der Technischen Überwachung vorbehalten.

Die Entwicklung und Projektierung schlagwetter- und explosionsgeschützter elektrotechnischer Betriebsmittel ist Aufgabe von Spezialisten. Einzelheiten sind den einschlägigen Standards TGL 19491/06, TGL 200-0050 und TGL 200-0621 sowie der Literatur [3.54] [3.55] zu entnehmen.

3.3.3. Wichtige Standards[1])

TGL 200-0600 Begriffe für elektrotechnische Anlagen

Das Ziel des Standards besteht darin, eine Zusammenfassung und einheitliche Deutung von Begriffen für elektrotechnische Anlagen zu geben. Enthalten sind etwa 1400 alphabetisch geordnete Begriffe, die zur Anwendung empfohlen werden.

TGL 200-0613/03 Leitungen in elektrotechnischen Anlagen; Einsatz in Informationsanlagen

Im Standard sind Angaben zur Auswahl, Strombelastbarkeit und Legung, zu Anschluß- und Leiterverbindungen sowie Kreuzungen und Näherungen enthalten.

TGL 200-0618 Elektrotechnische Anlagen; Inbetriebsetzungsprüfungen

Im Standard sind Begriffe, Angaben zum Erfordernis und zum Umfang des Nachweises sowie zur Nachweisführung und technischen Abnahme aufgeführt.

TGL 9200/03 Umgebungseinflüsse; Klassifizierung von Erzeugnissen; Einsatzklassen

Im Standard sind Auswahlreihen und Codeziffern für die zum Bestimmen der Einsatzklasse ausgewählten Parameter (Umgebungstemperatur, relative Luftfeuchte, Staub und Spritzwasser, Schimmelbildung sowie mechanische Schwingungen und Stöße) aufgeführt.

TGL 12468 Anfahr- und Signalordnung für Anlagen zentralgesteuerter technologischer Prozesse

Neben Begriffsbestimmungen sind Grundforderungen für die Gestaltung einheitlicher Anfahr- und Signalordnungen sowie ergänzende Festlegungen über Farbkennzeichnung von Anzeigeelementen und Blinkfrequenzen angegeben. Damit sind die für die Sicherheit des Betriebsablaufs und zum Schutz des Bedienpersonals notwendigen Warnsignale festgelegt.

TGL 13097 Taster und Leuchtmelder; Funktionsbezogene Kennzeichnung von Bedien- und Meldeeinheiten

Enthalten sind Begriffe, Anwendungsarten von Tastern, Leuchttastern und Leuchtmeldern, ihre Farbkennzeichnung und Hinweise für zusätzliche Kennzeichnungen. Zugelassene Farben sind Rot, Gelb, Grün, Schwarz, Weiß, Blau.

TGL 14091/01 Einheitliches System der Konstruktionsdokumentation; Symbole der MSR-Technik; Darstellung von MSR-Stellen

Der Standard gilt für die Darstellung von MSR-Einrichtungen in technologischen Schemata, technologischen Montageschemata und Fließschemata (Blindschaltbilder) in Meßwarten, für die Kennzeichnung der MSR-Einrichtungen in Rohrleitungsplänen und Anlagenmodellen sowie für die Bezeichnung der MSR-Stellen in der MSR-Stellenliste, in der technologischen Beschreibung und am Einbauort.

TGL 14091/02 Einheitliches System der Konstruktionsdokumentation; Symbole der MSR-Technik; Darstellung von Bauelementen, Geräten und Übertragungsfunktionen

Der Standard gilt für die Darstellung von Einrichtungen der MSR-Technik in Bauglied- und Signalflußplänen des Gerätebaus, der Projektierung und des Anlagenbaus.

TGL 14591 Automatische Steuerung; Begriffe, Kurzzeichen

Der Standard gilt als Grundlagenstandard für die Terminologie sowohl für Steuerungen als auch für Regelungen. Es sind knapp 400 Begriffe erfaßt und z. T. ausführlich erläutert. Sie sind gegliedert in: Grundbegriffe, Größen, Signale, Glieder und Systeme, Grundstrukturen, funktionelle Beschreibung, gerätetechnische Begriffe, Kurzzeichen und Indizes.

[1]) Bei der Anwendung von Standards sind die jeweils gültigen Ausgaben zu beachten!

TGL 16056/01 bis /03 Einheitliches System der Konstruktionsdokumentation des RGW; Schaltzeichen für Elemente der digitalen Technik.

Der Standard enthält die Symbole und Kennzeichen für binäre und digitale Glieder von Steuerungen (Verknüpfungsglieder, Trigger, kombinierte und spezielle Glieder, Flipflop).

TGL 19491/06 Schlagwetter- und explosionsgeschützte elektrische Betriebsmittel; Eigensicherheit

Einleitend werden im Standard Begriffe festgelegt und im Hauptteil technische Forderungen aufgestellt, die u. a. betreffen: Stromkreisverhältnisse, Einbeziehung von Beschädigungen, Gehäuse, Anschlüsse, Erdung, Kriech- und Luftstrecken, Verdrahtung, Spannungsfestigkeit, Stromquellen, Speisetransformatoren, Trennelemente, Begrenzer und Sicherheitsbarrieren.

Ab August 1985 gelten für explosionsgeschützte elektrotechnische Betriebsmittel die Standards TGL 55037 bis TGL 55042.

TGL 22500/01 Meß-, Steuerungs- und Regelungstechnik. System ursamat; Begriffe

Für das als gerätetechnische Basis für Prozeßsteuerungen dienende ursamat-System wurde eine Auswahl und Spezifizierung von Begriffen, insbesondere ausgehend von TGL 14591, getroffen.

TGL 32800/02 Automatisierte Systeme zur Steuerung technologischer Prozesse; Grundlegende Festlegungen zur Zuverlässigkeit

Das Ziel des Standards besteht in der Vereinheitlichung der anzuwendenden Zuverlässigkeitskenngrößen, der allgemeinen Festlegungen zur Zuverlässigkeit von automatisierten Systemen zur Steuerung technologischer Prozesse (ASU TP), der Grundsätze zur Ermittlung und zum Nachweis der Zuverlässigkeit von ASU TP sowie der grundsätzlichen Forderungen im Hinblick auf die Zuverslässigkeitsangaben in der technischen Aufgabenstellung und in der technischen Dokumentation.

4. Gerätetechnik für Prozeßsteuerungen

4.1. Allgemeiner Überblick

Das bislang noch am häufigsten eingesetzte Automatisierungsmittel zur Bearbeitung logischer Steuerungsaufgaben sind verbindungsprogrammierte Steuerungen (VPS) auf der Grundlage von Einzelelementen oder universellen Baugruppen. Die elektrisch/elektronischen VPS benutzen Relais (konventionelle und Schutzgasrelais), diskrete Halbleiter und integrierte Schaltkreise als wesentliche Bauelemente. Entgegen früheren Prognosen hat sich das Relais als Element für logische Verknüpfungen in Verbindung mit galvanischer Trennung und Leistungsniveau-Umsetzung behauptet, insbesondere bei stationären Kleinsteuerungen, für die keine Restriktionen bezüglich Raumbedarf, Leistungsbedarf und Verarbeitungsgeschwindigkeit bestehen, und wenn es zu einem günstigen Kosten-Leistungs-Verhältnis führt. Mit Relais lassen sich kombinatorische und sequentielle Schaltungen (z. B. Codewandler, Verriegelungs- und Folgesteuerungen) realisieren, die ohne wesentliche Informationsspeicherung auskommen.

In einem zunehmend größer werdenden Bereich, nämlich mindestens dort, wo die genannten Restriktionen bestehen, werden Halbleitersteuereinrichtungen eingesetzt. Neben der einfachen logischen Verknüpfung von Binärsignalen zu kombinatorischen und sequentiellen Funktionen sind teilweise auch Zähl-, Zeit- und Arithmetikfunktionen zu realisieren. Derartige VPS werden vorwiegend nur noch auf der Grundlage universeller Bausteinsysteme realisiert [TRANSLOG 2; SIMATIC S1, S2 (Siemens/BRD); LOGISTAT CI, Si (AEG-Telefunken/BRD); ursalog 4000]. Mit diesen Bausteinsystemen wurde schon ein großer Rationalisierungseffekt bei der Projektierung, Fertigung und Wartung von Steuereinrichtungen erreicht.

Der Übergang zu Steuerungen auf der Grundlage problemorientierter Baugruppen ist gleitend. Repräsentativ sind Steuereinrichtungen, die (in Analogie zur Taktkettenstruktur des Steuerungsproblems) aus sogenannten Taktbausteinen zusammengesetzt sind, wobei jedem technologischen Zustand ein derartiger Baustein zugeordnet ist. Die Verkettung der Bausteine, von denen mehrere zu einer Baugruppe zusammengefaßt sein können, erfolgt entsprechend der geforderten Taktkettenstruktur durch Verbindung bzw. Beschaltung ihrer Ein- und Ausgänge. Für die veränderbare Programmierung sind Ausführungen mit Kreuzschienenverteiler oder Diodenmatrix bekannt.

Für vorwiegend Programmsteuerungen werden auch unifizierte Steuereinrichtungen eingesetzt, die eine freie oder auch nur beschränkte Programmierung des Steuerungsablaufs erlauben. Zur Programmaufbewahrung werden hauptsächlich elektronische Schrittschaltwerke, Lochkarten, Lochstreifen, Dioden- und andere Halbleiterspeicher verwendet.

Vor 1970 wurden auch schon konventionelle Prozeßrechner zur Steuerung eingesetzt. Aus ökonomischen Gründen war dies allerdings nur für umfangreiche Probleme (z. B. Steuerung von Verkehrsobjekten, Taktstraßen, Energietransporteinrichtungen, Chargenprozessen) und solche, die in komplexen Automatisierungsprojekten eingebettet sind (z. B. mit DDC und Datenerfassung), sinnvoll. Die für digitale Informationsverarbeitung ausgelegten Prozeßrechner sind jedoch für die Programmierung binärer Schaltfunktionen schwer handhabbar. Sowohl die sehr aufwendige und damit anwenderunfreundliche Programmierung in der Maschinensprache als auch die Programmierung in einer der bekannten Hochsprachen liefern bei logischen Steuerungsaufgaben zeit- und speicherplatzintensive Programme. Ein hoher Sofware-Anteil verschlechtert das Kosten-Leistungs-Verhältnis.

Als Alternative bieten sich im Weltmaßstab gesehen seit etwa 1970 speicherprogrammierbare Steuereinrichtungen (SPS) an, die zunehmend konventionelle Steuereinrichtungen verdrängen. SPS bestehen im wesentlichen aus einer Eingabeeinheit zur Anpassung der Eingangssignale, einer

Steuereinheit mit Programmspeicher und einer Ausgabeeinheit zur Speicherung und Anpassung der Ausgangssignale. Der Steuerungsablauf bzw. das Eingangs-/Ausgangsverhalten wird sequentiell durch eine Folge von im Programmspeicher abgespeicherten Befehlen bestimmt. Diese Befehlsfolge, das Programm, ergänzt als Software die „vorkonfektionierte“ Hardware zur problemspezifischen Steuereinrichtung. Soll die Funktion der Steuerung geändert werden, ist der Speicherinhalt, d. h. das Programm, entsprechend zu ändern. Diese globale Wirkungsweise ist mit der von Prozeßrechnern identisch. Der wesentliche Unterschied zu ihnen besteht in der Art der Programmierung. SPS werden unabhängig von der Art der Implementierung ihrer Steuereinheit auf der Grundlage eines steuerungsspezifischen Befehlssatzes programmiert, d. h., der Befehlssatz ist direkt für die Programmierung nach einer oder mehreren bekannten Beschreibungsformen für Steuerungsprobleme ausgelegt.

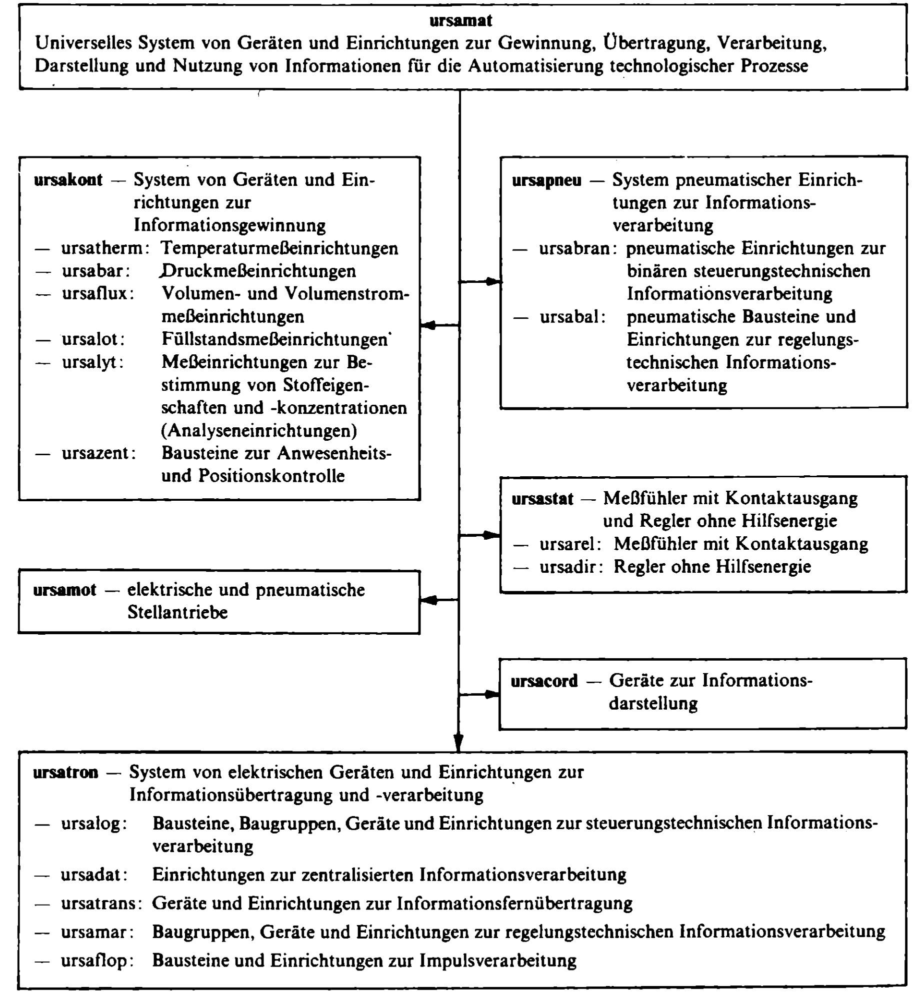


Bild 4.1.1. ursamat — Systemübersicht

Hauptzulieferer von Automatisierungsgeräten und -einrichtungen für den Anlagenbau der DDR ist das Kombinat VEB Elektro-Apparate-Werke Berlin-Treptow „Friedrich Ebert". Die Geräte und Einrichtungen zur Gewinnung, Übertragung, Verarbeitung, Darstellung und Nutzung von Informationen für die Automatisierung technologischer Prozesse sind Komponenten des universellen Automatisierungsgerätesystems „ursamat". Das System ursamat entstand in der DDR als nationale Variante des 1961 von den Mitgliedsländern des RGW beschlossenen und nachfolgend entwickelten „Universellen internationalen Systems für die automatische Überwachung, Regelung und Steuerung" (URS).

Im Bild 4.1.1 ist eine Aufgliederung des Systems ursamat in seine Systemzweige und Gerätesysteme dargestellt. Die in den nächsten Abschnitten vorgestellte Gerätetechnik für Prozeßsteuerungen beschränkt sich auf ein Relaissteuersystem und auf elektronische Baustein- und Baugruppensysteme sowie Geräte und Einrichtungen zur Informationsverarbeitung aus dem Systemzweig ursatron und insbesondere dem darin eingeordneten Gerätesystem ursalog.

4.2. Systeme für verbindungsprogrammierte Steuereinrichtungen

4.2.1. Relaissteuersysteme

Trotz des Vordringens elektronischer Schaltungen ergeben sich auch für kontaktbehaftete Steuereinrichtungen noch gesicherte Anwendungsgebiete. Das gilt vor allem für Steuerungen kleineren Umfangs und mit geringer Verarbeitungstiefe. Dabei erfordert die freizügige Kombination von Relais mit unterschiedlicher Funktion eine weitgehende Angleichung ihrer konstruktiven und elektrischen Parameter. Eine besonders günstige Projektierung und Betriebsführung ergibt sich bei Relaissystemen mit einem vollständigen Sortiment aufeinander abgestimmter Typen. Der Austausch von Relais wird erleichtert durch Ausführungen mit Steckfassung, wobei an die Kontaktsicherheit der Stecker und Buchsen hohe Anforderungen zu stellen sind.

Die stets wiederkehrenden Verknüpfungen binärer Signale in Steuerschaltungen werden von Relais und anderen kontaktbehafteten Bauteilen durch Reihen- und Parallelschaltung vorgenommen. Bei Gleichspannungsbetrieb können Schaltungen mit Dioden in bestimmten Fällen zur Einsparung von Kontakten führen, wobei die Dioden häufig zur Entkopplung und im Sinne der ODER-Funktion verwendet werden. Speicherschaltungen sind i. allg. Selbsthalteschaltungen, oder es werden bistabile Relais eingesetzt. Zeitverzögerungen werden durch elektromechanische Laufwerke, *RC*-Glieder oder elektronische Schaltungen bewirkt.

4.2.1.1. Einsatz von Relaissteuersystemen in der Industrie

Relaissysteme für industrielle Steuerungen müssen bestimmte Anforderungen erfüllen, um eine zuverlässige Funktion, auch unter erschwerten Umweltbedingungen, zu gewährleisten. Im folgenden werden diese Anforderungen und ihre Auswirkungen auf die Relaissteuereinrichtungen erörtert.

Eigenschaft	Auswirkungen
kleine Erregerleistung, große Schaltleistung	geringer relativer Wärmeumsatz, direkte Ansteuerung von Schützen und Stellantrieben
vollständiges Sortiment von neutralen und bistabilen Relais, Zeitrelais, messenden Relais, Zeitplangebern und Netzteilen	Realisierung der Funktionen: Verknüpfen — Speichern — Verzögern — Verstärken — Erfassen von Grenzwerten
steckbare Relais mit Gehäuse	leichter Austausch nach Ausfall, Bestückung erst bei Inbetriebsetzung, Schutz gegen Beschädigung, Berührungsschutz

Relais mit hoher max. Schaltfrequenz	schnelle Reaktion auf Eingangssignale und Bildung von Melde- und Stellsignalen
konstruktiv und elektrisch kompatibel zu elektronischen Systemen	Aufbau gemischter Steuerungen
große Schaltzahlen bis zum Verschleiß des Relais	vertretbare Lebensdauer bei großer Schalthäufigkeit
Verdrahtung durch Löten bzw. Wickeln	rationelle Verbindungstechnologie
großer zulässiger Temperaturbereich und geringe Störempfindlichkeit	vielfältiger Einsatz, auch in unmittelbarer Nähe von Motoren, Transformatoren und Geräten der Leistungselektrik und -elektronik

4.2.1.2. Relaissystem RELOG

RELOG ist ein System elektromagnetischer und elektronischer Relais, die einheitliche konstruktive und funktionelle Parameter sowie Einsatzbedingungen aufweisen. Es wird durch Zubehörteile wirksam ergänzt. RELOG-Bausteine sind besonders geeignet

- zur Kleinautomatisierung
- für nichtnumerische Maschinensteuerungen
- für Aufzugssteuerungen und Fördertechnik
- für den medizinischen Gerätebau
- für die Schiffsautomatisierung
- für Energiebetriebe.

Für den Schiffseinsatz (DSRK-Zulassung) und den Einsatz auf Schienenfahrzeugen wurden spezielle Bausteinausführungen entwickelt.



Bild 4.2.1
Bauformen von RELOG-Relais

Zum Blockbausteinsystem TRANSLOG 2 besteht weitgehende konstruktive und elektrische Kompatibilität, so daß auch Bestandteile des TRANSLOG 2-Sortiments, wie Netzteile, Leergehäuse und Eingangsbausteine, für RELOG-Steuerungen mit benutzt werden können. Wichtige Parameter sind in TGL 26047 [4.2] standardisiert.

4.2.1.3. Konstruktiver Aufbau

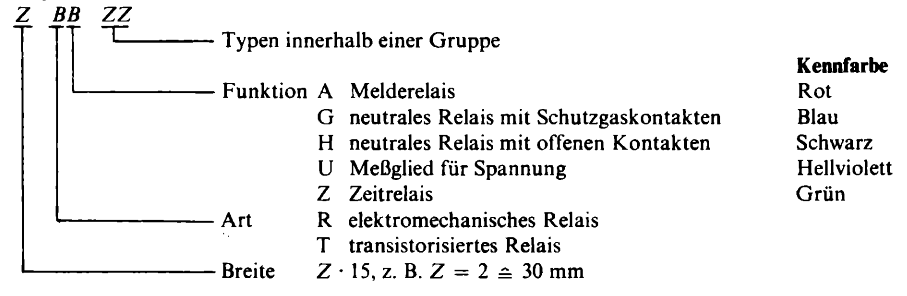
Die RELOG-Bausteine haben die Hauptabmessungen

Höhe ≦ 83 mm; Tiefe ≦ 90 mm (+26 mm für Bedienelemente); Breite $Z \cdot 15$ mm (Z Anzahl). Die Bausteine sind in der Normalausführung steckbar; sie haben eine abnehmbare, mit zwei Schrauben befestigte Abdeckkappe aus schwer entflammbarem Polycarbonat oder aus Metall mit einem Sichtfenster aus Polycarbonat, das die Beobachtung der Schaltglieder ermöglicht. Der Steckanschluß ist bis zu einem Nenndauerstrom von 5 A belastbar. Bei höheren Strömen ist Lötanschluß erforderlich.

Der Schutzgrad eines Bausteins beträgt IP 40 in gestecktem Zustand, IP 00 an der Verdrahtungsseite. Einige Typen sind auch in offener Ausführung für Schraubbefestigung lieferbar (Bild 4.2.1).

Die Einbaulage ist beliebig, jedoch nicht hängend (Kontaktmesser oben) bei starker Schwingungs- oder Stoßbeanspruchung. Bei thermischer Grenzbelastung ist die Vorzugseinbaulage anzuwenden: von vorn gesteckt, Schaltglieder oben, Beschriftung aufrecht. Die Relais können wahlweise auch in Schalttafelausschnitten an ihren Führungsmessern befestigt werden.

Jedes Relais trägt eine aus Ziffern und Buchstaben zusammengesetzte Typbezeichnung nach folgendem Muster:



Z Ziffer, B Buchstabe

Die Relais können auch auf Adapter gesteckt werden, wobei die Verdrahtung über Klemmen erfolgt.

Die Steckfassungen für RELOG-Bausteine werden als Zweifach- und Vierfachsteckfassung (b = 30 bzw. 60 mm) angeboten, und zwar in je einer Ausführung für Lötverdrahtung und Wickelverdrahtung. Der Wickelanschluß erfolgt mit Schaltdraht 0,5 ... 0,8 mm Dmr.

4.2.1.4. Einsatzbedingungen

Für die RELOG-Relais und Zubehörteile gelten die folgenden Einsatzbedingungen:

- Betrieb Normalausführung −30/+50/20/90//1102
  ϑ_{max} = +55 °C bei Einzelanordnung bzw. nicht gleichzeitiger Erregung benachbarter Relais
  DSRK-Ausführung −30/+50/45/75//1202
  Ausführungsklasse M II
- Transport ϑ = −50/+50 °C, Extremwert +70 °C, Einsatzgruppe G II Temperatur-Feuchte-Kopplung +32/95 p ≧ 65 mbar
- Lagerung ϑ = −50/+50 °C, Extremwert +70 °C, Einsatzgruppe G II Temperatur-Feuchte-Kopplung +33/90

Als Lebenserwartung sind in den Kenndatenblättern Werte zwischen 10^5 und 10^7 Schaltspielen angegeben in Abhängigkeit von der Kontaktbelastung und Betriebsart sowie vom Relaistyp. Bei gleichstrombelasteten Kontakten ergibt die Reihenschaltung von Schaltgliedern eine ver-

besserte Lichtbogenlöschung durch Mehrfachunterbrechung und damit einen höheren zulässigen Ausschaltstrom.

Einzelheiten zur Belastbarkeit der Relaiskontakte enthalten die Kenndatenblätter [4.3].

4.2.1.5. Funktionelle Parameter

Für die RELOG-Relais ist allgemein die Ansteuerung durch Kontakte (Relaiskontakte, Grenzwertkontakte, handbetätigte Schalter und Taster) vorgesehen. Die Relaiskontakte können ihrerseits weitere Relais oder Schaltgeräte größerer Leistung sowie Motoren, Magnetkupplungen, Magnetbremsen und Magnetventile schalten. Die höchste Nennspannung im System beträgt 220 V GS bzw. WS. In den Tafeln im Abschnitt 4.2.1.6. wird der zulässige Kontaktdauerstrom

Tafel 4.2.1. Neutrale Relais und Haftrelais mit offenen Kontakten

Typ	Spule	Erreger-leistung	Kontaktsystem	Ausführung
2 RH 01	12 V GS 24 V GS 42 V GS 60 V GS 110 V GS 220 V GS	≦3 W	4 Wechsler 5 A GS/WS max. 3600 Sch./h $t_{EIN} < 30$ ms $t_{AUS} < 30$ ms	steckbar, mit Gehäuse, wahlweise mit Schauzeichen oder Fallklappe, wahlweise mit Kontakt AgPd 30, wahlweise DSRK-Ausführung
2 RH 05	wie 2 RH 01		wie 2 RH 01	Lötanschluß, Schraubbefestigung, offen
2 RH 30	24 V WS 42 V WS 60 V WS 127 V WS 220 V WS	≦9,5 VA Anzug ≦4,5 VA Halten	4 Wechsler 5 A GS/WS max. 3600 Sch./h $t_{EIN} < 30$ ms $t_{AUS} < 30$ ms	steckbar, mit Gehäuse, wahlweise mit Schauzeichen oder Fallklappe, wahlweise DSRK-Ausführung
2 RH 35	wie 2 RH 30		wie 2 RH 30	Lötanschluß, Schraubbefestigung, offen, DSRK-Ausführung
4 RH 10	12 V GS 24 V GS 42 V GS 60 V GS 110 V GS 220 V GS	≦8 W	8 Wechsler 5 A GS/WS max. 3600 Sch./h $t_{EIN} < 30$ ms $t_{AUS} < 30$ ms	steckbar, mit Gehäuse, zwei Spulen in Reihenschaltung
4 RH 40	24 V WS 42 V·WS 60 V WS 127 V WS 220 V WS	≦25 VA Anzug ≦15 VA Halten	$t_{EIN} < 35$ ms sonst wie 4 RH 10	steckbar, mit Gehäuse, 2 Spulen in Reihenschaltung
2 RH 60	12 V GS 24 V GS 42 V GS 60 V GS 110 V GS 220 V GS	≦3 W	4 Wechsler 5 A GS/WS max. 3600 Sch./h $t_{EIN} < 30$ ms $t_{AUS} < 50$ ms	Haftrelais, Ein- und Ausschaltung durch Impuls $t > 100$ ms mit unterschiedlicher Polarität, Ausschaltung mit angepaßtem Vorwiderstand

genannt; die zulässigen Einschalt- und Ausschaltströme sind den Kenndatenblättern [4.3] zu entnehmen.

Die Ansteuerung von RELOG-Relais durch Schaltverstärker des Bausteinsystems TRANS-LOG 2 ist unter Beachtung der zulässigen Verstärkerbelastung gegeben. Beim Entwurf der Relaissteuerungen ist darauf zu achten, daß nicht durch Kontaktprellungen Fehlfunktionen anderer Bausteine auftreten.

4.2.1.6. Sortiment

Das Relaissystem RELOG umfaßt neutrale Relais, Haftrelais, Zeitrelais und messende Relais. Die einzelnen Typen sind konstruktiv und elektrisch zueinander kompatibel, so daß ein in sich geschlossenes System vorliegt. Spezielle Stromversorgungseinheiten für RELOG-Relais werden

Tafel 4.2.2. Neutrale Relais mit Schutzgaskontakten

Typ	Spule	Erreger-leistung	Kontaktsystem	Ausführung
2 RG 01	12 V GS 24 V GS 42 V GS 60 V GS 110 V GS 220 V GS	≦4 W	10 Schließer 3 A GS/WS max. 50 Sch/h t_{EIN} < 10 ms t_{AUS} < 2 ms	steckbar, mit Gehäuse, DSRK-Ausführung steckbar, mit Gehäuse, Normalausführung
2 RG 02	12 V GS 24 V GS 42 V GS 60 V GS 110 V GS 220 V GS	Spule 1 ≦ 3 W Spule 2 ≦2,5 W	4 Schließer 2 Schließer 3 A GS/WS max. 50 Sch/h t_{EIN} < 10 ms t_{AUS} < 2 ms	steckbar, mit Gehäuse, Normalausführung
2 RG 03	R_{Spule} 35 kΩ 10,1 kΩ 2,7 kΩ 0,55 kΩ	≦20 mW bei 20 °C	1 Schließer 3 A GS/WS t_{EIN} < 10 ms t_{AUS} < 3 ms	steckbar, mit Gehäuse, wahlweise DSRK-Ausführung
2 RG 04	Spule 1 R_{Spule} 35 kΩ 10,1 kΩ 2,7 kΩ Spule 2 24 V GS 60 V GS	≦20 mW bei 20 °C	1 Schließer 2 Schließer 3 A GS/WS t_{EIN} < 10 ms t_{AUS} < 3 ms	steckbar, mit Gehäuse, Normalausführung
2 RG 05	24 V WS 220 V WS	0,11 VA bis 1,5 VA	1 Schließer 3 A GS/WS t_{EIN} < 25 ms t_{AUS} < 50 ms	steckbar, mit Gehäuse, Normalausführung, 24-V-Relais wahlweise DSRK-Ausführung
2 RG 06	12 V GS 24 V GS 60 V GS	0,09 W bis 1,0 W	1 Schließer 3 A GS/WS t_{EIN} 2 bis 5 ms t_{AUS} < 2 ms	steckbar, mit Gehäuse, Normalausführung

nicht angeboten; die Relais werden aus dem Netz, aus systemfremden Spannungsquellen oder aus den TRANSLOG 2-Netzteilen (s. a. Abschn. 4.2.2.) gespeist. Der Toleranzbereich der Speisespannung beträgt 80 ... 110% U_{nenn}.

4.2.1.6.1. Neutrale Relais und Haftrelais mit offenen Kontakten

Diese Relais nach Tafel 4.2.1 werden für die standardisierten Betriebsspannungen gefertigt. Sie haben robuste Wechslerkontakte für eine maximale Schaltspannung von 220 V und eine hohe Strombelastbarkeit. Die Kontaktstromkreise sind untereinander und vom Spulenstromkreis galvanisch getrennt. Die Spulenanschlüsse der Gleichstromrelais sollten nach Möglichkeit mit Freilaufdioden zum Abbau von Abschaltüberspannungen beschaltet werden, wie sie der Diodenbaustein 2 RT 01 enthält. Das gilt insbesondere für solche Relais, die von Transistorverstärkern (TRANSLOG 2, ursalog 4000) angesteuert werden.

4.2.1.6.2. Neutrale Relais mit Schutzgaskontakten

Diese Relais (Tafel 4.2.2) sind besonders für Verknüpfungen in gleichspannungsbetriebenen Steuerschaltungen geeignet. Der Schutzgaskontakt, ein Schließer, zeichnet sich durch kurze Schaltzeiten und geringe, auch über lange Zeiten gleichbleibende Kontaktübergangswiderstände aus. Er unterliegt nicht den korrodierenden Einflüssen des Lichtbogens und der Atmosphäre. Die fehlenden Öffnerkontakte können durch eine Umkehrschaltung nach Bild 4.2.2 nachgebildet

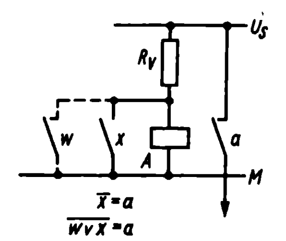


Bild 4.2.2
Umkehrschaltung mit Kontakten

werden. Darin ist bei offenem (nicht betätigtem) Geberkontakt x der Kontakt a des Relais A geschlossen und umgekehrt. Der Vorwiderstand R_V kann im TRANSLOG 2-Leergehäuse (s. auch Abschn. 4.2.2.) untergebracht werden. Die Relais 2 RG 03 und 2 RG 04 zeichnen sich durch eine besonders geringe Ansprechleistung aus. Sie können daher auch von leistungsschwachen Geberkontakten angesteuert werden.

4.2.1.6.3. Zeitrelais

Das RELOG-Sortiment enthält elektronische Zeitrelais für einen weiten Zeitbereich von 0,05 s bis zu 10 Tagen, sie können in unterschiedlichen Betriebsarten eingesetzt werden und geben ihr Ausgangssignal entweder an einen potentialfreien Kontakt oder an eine Transistorschaltung ab, bei der der Kollektorwiderstand die externe Last darstellt. Die Zeitrelais werden durch Anlegen der Betriebsspannung gestartet. Das gegenwärtige Sortiment mit den Hauptparametern ist in Tafel 4.2.3 dargestellt.

Bei den Zeitrelais findet der Schaltkreis E 355 Verwendung, der nach dem Prinzip der Frequenzteilung arbeitet. Sie können durch je drei Brücken an der Steckfassung für eine der Betriebsarten

- Einschaltverzögerung, einfach und summierend
- Ausschaltverzögerung
- Kippfunktion
- Wischfunktion
- Taktgeber mit $t_i = t_p$

Tafel 4.2.3. Zeitrelais

Typ	Eingang	Ausgang	Ausführung
6 TZ 60	24, 48 bis 60 V GS 24 V WS 42 V WS 110 V WS 127 V WS 220 V WS Leistungsaufnahme ≦3 W bzw. 5 VA	1 Wechsler 5 A max. 3600 Sch./h 4 Bereiche 0,1 bis 1 s 1,0 bis 10 s 10 bis 100 s 1 bis 10 min	steckbar, mit Gehäuse, Bedienelemente an der Frontplatte
6 TZ 61	24, 48 bis 60 V GS 24 V WS 42 V WS 110 V WS 127 V WS 220 V WS Leistungsaufnahme ≦3 W bzw. 5 VA	2 Wechsler 3 A max. 3600 Sch./h Zeitbereiche wie 6 TZ 60	wie 6 TZ 60
6 TZ 62	24, 48 bis 60 V GS Leistungsaufnahme ≦3 W	Transistorausgang 60 V/300 mA	wie 6 TZ 60
6 TZ 70	24, 48 bis 60 V GS 24 V WS 42 V WS 110 V WS 127 V WS 220 V WS Leistungsaufnahme ≦3 W bzw. 5 VA	1 Wechsler 5 A max. 3600 Sch./h 8 Bereiche 0,1 bis 1 s 1,0 bis 10 s 10,0 bis 100 s 1,0 bis 10 min 10,0 bis 100 min 1,0 bis 10 h 10,0 bis 100 h 1,0 bis 10 d	steckbar, mit Gehäuse, Bedienelemente an der Frontplatte
6 TZ 71	wie 6 TZ 70 Leistungsaufnahme ≦3 W bzw. 5 VA	2 Wechsler 3 A max. 3600 Sch./h Zeitbereiche wie 6 TZ 70	wie 6 TZ 70
6 TZ 72	24, 48 bis 60 V GS Leistungsaufnahme ≦3 W	Transistorausgang 60 V/300 mA	wie 6 TZ 70

programmiert werden. Anstelle dieser festen Programmierung kann auch eine veränderbare Steuerung der Betriebsart über Relaiskontakte oder Wahlschalter erfolgen, jedoch nur mit kurzen, abgeschirmten Leitungen.

4.2.1.6.4. Messende Relais und Zubehörteile

Das RELOG-Sortiment wird abgerundet durch zwei Typen Überspannungs- und Unterspannungsrelais für Gleichspannung (2 RU 10) und Wechselspannung (2 RU 30). Sie können als Erdschlußrelais und zur Überwachung von Betriebsspannungen eingesetzt werden. Mit einem Einstellregler lassen sich die Schwellwerte im Bereich (0,4 ... 0,8) U_{nenn} (Unterspannung) und (1 ... 2) U_{nenn} (Überspannung) stufenlos einstellen. Das Ausgangssignal kann an einem potentialfreien Schutz-

rohrkontakt (Schließer) abgenommen werden. Ansprechzeit und Rückgangszeit betragen ≦50 bzw. 100 ms.

Zum Zubehör gehören mehrere Typen von verdrahteten Adaptern für steckbare RELOG-Bausteine und der Montagsrahmen XT 26. Der Rahmen dient zur Aufnahme von Steckfassungen, die innerhalb des Rahmens zu einer abgeschlossenen Funktionseinheit verdrahtet werden können. Eingangs- und Ausgangssignale sowie Speisespannungen lassen sich an seitlichen Klemmleisten anschließen.

Zur Unterdrückung induktiver Spannungsspitzen beim Abschalten von Relais dient der Diodenbaustein 2 RT 01; er enthält 10 Einzeldioden, die als Freilaufdioden freizügig verwendet werden können. Es empfiehlt sich, diesen Diodenbaustein in der Nähe der zu beschaltenden Relais anzuordnen, um mit kurzen Leitungen auszukommen.

Der Diodenbaustein 2 RT 05 umfaßt Diodengatter zur ODER-Verknüpfung von Erreger- oder Kontaktstromkreisen.

Schließlich ist der Baustein 2 RA 20 zu nennen, der drei Schmelzsicherungen zur Absicherung von Stromkreisen und Kontrollampen enthält.

4.2.2. Elektronische Blockbausteinsysteme

Elektronische Blockbausteine sind durch einen mechanisch robusten Aufbau mit einer abnehmbaren oder festen Abdeckkappe aus Metall oder Plastwerkstoff gekennzeichnet. Sie eignen sich für VPS kleinen bis mittleren Umfangs und können aufgrund des äußeren Schutzes durch die Kappe auch unter schwierigen Umweltbedingungen ohne zusätzlichen Schutz durch ein Gefäß eingesetzt werden. Bei der Entwicklung der Schaltungstechnik konnten die Vorteile integrierter Schaltkreise infolge des vergleichsweise geringen Schaltungsumfangs in einem Baustein nur teilweise genutzt werden. Ein weiteres Problem ist die Abführung der Verlustwärme aus dem Inneren des gekapselten Bausteins. So sind bei einem Schutzgrad von beispielsweise IP 40 nur Luftschlitze mit einer Breite unter 1 mm zulässig. Schließlich ist die Kompatibilität der Blockbausteine zu einem Relaissystem und zu Kartenbaugruppen von Bedeutung für den Anwender.

4.2.2.1. Einsatz elektronischer Blockbausteine in der Industrie

Im folgenden werden die Anforderungen an digitale Blockbausteine für den industriellen Einsatz beschrieben und deren Auswirkungen auf die damit aufgebauten Steuereinrichtungen erörtert.

Eigenschaft	Auswirkungen
mechanisch robust, Schutz durch abnehmbare Kappe	Einsatz „vor Ort“, Modifikation auf der Leiterplatte durch den Anwender, Reparaturmöglichkeit
robuster, funktionssicherer und korrosionsfester Steckverbinder	Einsatz unter rauhen Umgebungsbedingungen, auch in Chemie- und Metallurgiebetrieben
geringe Funktionsdichte	geeignet für kleine bis mittlere Anlagen, gute Baugruppenausnutzung, Funktion auch für wenig geübte Anwender überschaubar
großer Temperaturbereich	vielseitiger Einsatz, auch in der Nähe von Wärmequellen, Einsatz auf Seeschiffen
kompatibel zu Relaisbausteinen	Aufbau gemischter elektronischer und kontaktbehafteter Steuerungen, ggf. mit galvanischer Trennung an den Nahtstellen

4.2.2.2. Blockbausteinsystem TRANSLOG 2

Das Blockbausteinsystem TRANSLOG 2 eignet sich zur Realisierung von Steuerungen kleinen bis mittleren Umfangs. Es wird bevorzugt eingesetzt zur Steuerung von Be- und Verarbeitungsmaschinen, Fördereinrichtungen, polygrafischen Maschinen, Textilmaschinen sowie Chemie- und Metallurgieanlagen, zur Schiffsautomatisierung, Lagerautomatisierung und für Aufgaben der Kleinmechanisierung und Rationalisierung. Es zeichnet sich durch einfache Projektierung aus und ist zum Relaissystem RELOG konstruktiv und elektrisch kompatibel. Der Einsatz auf Seeschiffen wird durch die DSRK-Zulassung aller Systembestandteile ermöglicht.

Gegenüber dem abgelösten System TRANSLOG Ge konnte das neue System in bezug auf folgende Parameter weiterentwickelt werden:

- erweiterter Temperaturbereich
- definierte Störsicherheit
- einheitliche Lastfaktoren
- Anschlußtechnik: wahlweise Wickeln
- erweitertes Sortiment
- Reparierbarkeit der Bausteine.

4.2.2.3. Konstruktiver Aufbau

4.2.2.3.1. Bausteine

TRANSLOG 2-Bausteine sind Blockbausteine, die aus einer oder mehreren Leiterplatten im Plastgehäuse aufgebaut sind. Das Gehäuse setzt sich aus einer Grundplatte und der abnehmbaren Abdeckkappe zusammen. Plastklammern halten die Leiterplatte(n) in der Grundplatte. Die an der Leiterplatte befestigten Kontaktmesser ragen durch Öffnungen in der Grundplatte und werden in der Steckfassung kontaktiert. Die Grundplatte trägt zwei Führungsmesser, die das Einführen des Bausteins in die Steckfassung erleichtern und den Baustein am Herausfallen bei Rüttelbeanspruchung hindern. Die Führungsmesser sind unsymmetrisch angeordnet, so daß ein Einstecken des Bausteins in falscher Lage (um 180° gedreht) nicht möglich ist. Kontaktmesser, die bei einem Bausteintyp nicht benötigt werden, entfallen.

Die Kappe wird auf die Grundplatte so aufgeschoben, daß sie in Schnappverbindungen an den Schmalseiten einrastet. Ein Aufsetzen in falscher Lage ist durch die unterschiedliche Form der Nuten verhindert. Zum Öffnen des Bausteins wird ein Schraubendreher benötigt.

Die maximale Baubreite der Bausteine beträgt ein ganzzahliges Vielfaches von 15 mm, wobei jedoch nicht alle zulässigen Größen auftreten. Die Hauptabmessungen der Bausteine gehen aus

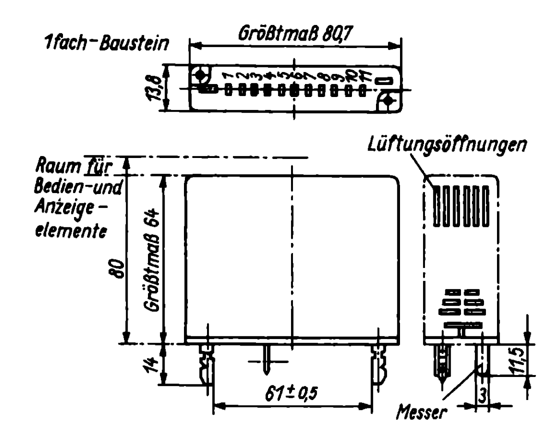


Bild 4.2.3
TRANSLOG 2-Bausteine, Hauptabmessungen

Bild 4.2.3 hervor. Sie sind in TGL 33567/01 standardisiert [4.9]. Ein Baustein der Breite 15 mm enthält eine Leiterplatte; Bausteine der Breite 30 mm enthalten eine oder zwei Leiterplatten, Bausteine der Breite 60 mm bis zu vier Leiterplatten. Bei allen Bausteinen ist der Anschluß *1* (oben) mit $U_1 = +12$ V, der Anschluß *2* mit *M* (Bezugspotential) verbunden. Das gestattet eine einfache Zuführung der Speisespannung und des Nullpotentials über Blankdrähte, die parallel an alle Steckfassungen geführt und angelötet werden.

4.2.2.3.2. Verdrahtungsrahmen

Die Steckfassungen der Bausteine werden in Verdrahtungsrahmen (Bild 4.2.4) montiert. Der Rahmen mit einer Teilungsbreite 480 (360, 240) mm ist an der Rückseite oben und unten mit je einem Kamm zur Halterung der Anschlußdrähte bestückt. Ein Verdrahtungsrahmen der Breite 480 mm kann 32 Steckfassungen der Breite 15 mm aufnehmen.

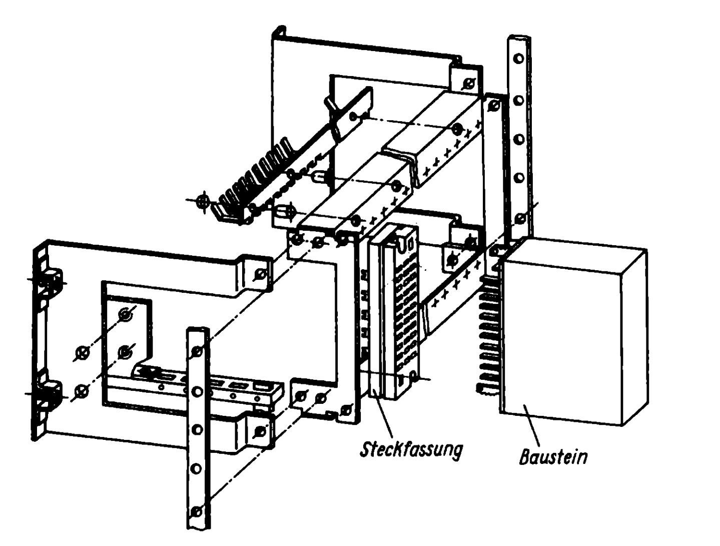


Bild 4.2.4
Verdrahtungsrahmen, Montageübersicht

Die Steckfassungen sind in zwei Varianten verfügbar, und zwar mit Wickelpfosten für Wickelverdrahtung (Drahtdurchmesser 0,5 oder 0,8 mm) und in einer Ausführung für Lötverdrahtung. Die Anschlüsse *1* und *2* werden in jedem Fall gelötet.

4.2.2.3.3. Einbau in EGS-Gefäße

Über zusätzliche Montageteile kann der Einbau der Verdrahtungsrahmen in unterschiedliche EGS-Gefäße erfolgen. Für die einzelnen Etagen ist dabei eine Höhenstufung von $\geqq 120$ mm vorzusehen. Diese Höhe wird nicht völlig von Bausteinen ausgefüllt, der verbleibende Abstand zwischen zwei Bausteinreihen kommt jedoch der Belüftung und Wärmeabfuhr zugute und kann bei hoher Wärmekonzentration zum Einbau eines Luftleitblechs genutzt werden.

Die Versorgung der Verdrahtungsrahmen mit den Speisespannungen erfolgt über seitlich montierte Stromschienen. Bild 4.2.4 zeigt eine Montageübersicht mit den Einzelteilen zum Einbau eines Verdrahtungsrahmens. Eine ausführliche Darstellung dazu vermitteln die Kenndatenblätter [4.4] und die Projektierungshinweise [4.5] bis [4.7].

4.2.2.4. Einsatzbedingungen

Beim Einsatz des Systems TRANSLOG 2 sind die folgenden Umgebungsbedingungen einzuhalten:

- Betrieb der Bausteine und Netzteile –10/+65/45/75//3102 (–10/+45/45/75//3202 außerhalb des Gefäßes)
- Lagerung bei –40 ... +70 °C, max. rel. Luftfeuchte 90 % und höchster Temperatur-Feuchte-Kopplung 33/90
- Transport bei –20 ... +70 °C, höchster Temperatur-Feuchte-Kopplung 32/95 und Luftdruck p ≧ 600 mbar
- DSRK-Ausführungsklasse M II für Bausteine und Netzteile im Gefäß (M III ohne Gefäß).

Die Funk-Entstörung wird vom Anwender im Rahmen der Gesamtanlage vorgenommen.
Die Schutzgrade betragen für

– Bausteine	IP 40
– Stromversorgungsgeräte als Blockbausteine	IP 20
– Stromversorgungsgeräte in EGS-Bauform	IP 00.

Die Bausteine, Geräte und Zubehörteile sind auch bei gleichzeitigem Auftreten aller Toleranzen in der ungünstigsten Kopplung noch voll funktionsfähig. Alle Schaltungen wurden nach dem Prinzip des „worst case" dimensioniert.

4.2.2.5. Funktionelle Parameter

Das Blockbausteinsystem TRANSLOG 2 ist durch die folgenden funktionellen Parameter charakterisiert:

– Betriebsspannungen	$U_1 = +12\ \text{V} \pm 5\,\%$	für Bausteine
	$U_2 = +24\ \text{V} \pm 25\,\%$	aus Rohstromversorgung
	$U_3 = -24\ \text{V} \pm 25\,\%$	
	$U_4 = +48\ \text{V} \pm 25\,\%$	
	$U_5 = +60\ \text{V} \pm 25\,\%$	

Die Spannung U_1 wird mit Stabilisierungsbausteinen aus der Spannung U_2 der Rohstromversorgung gewonnen. Die Betriebsspannungen U_2, U_4 und U_5 dienen zur Speisung von Eingangs- und Ausgangsstromkreisen.

– Signalpegel	am Ausgang auftretend	am Eingang erforderlich
Signal 0	$U_A \leqq 0{,}5$ V	$U_E \leqq 1{,}3$ V
Signal 1	$U_A \geqq 7{,}0$ V beim Nennwert von U_1	$U_E \geqq 5{,}25$ V

- statischer Störabstand
  vom 0-Signal $U_{St0} \geqq 0{,}8$ V
  vom 1-Signal $U_{St1} \geqq 1{,}75$ V (1,0 V bei passiven Gliedern)
- Lastfaktoren
  Eingangslastfaktor $Fe = 1 \mathrel{\hat{=}} I_E \leqq 0{,}31$ mA bei $U_E = 7{,}0$ V
  Ausgangslastfaktor $Fa = 6\,(18)$
- maximale Arbeitsfrequenz $f = 10$ kHz
  Signalflanken $t_{01} \leqq 14\ \mu\text{s}$, $t_{10} \leqq 10\ \mu\text{s}$

4.2.2.6. Sortiment

Das Sortiment des Systems TRANSLOG 2 gliedert sich in Bausteine zur Signaleingabe, Signalverarbeitung und Signalausgabe sowie Netzgeräte, Stabilisierungsbausteine und Zubehör. Im folgenden wird eine Sortimentsübersicht gegeben; ausführliche Angaben, wie sie für die Projektierung unentbehrlich sind, enthalten die Kenndatenblätter [4.4] und Projektierungshinweise [4.5] bis [4.7]. Problemorientierte Bausteine und Bausteine für Rechenfunktionen sind im Sortiment nicht vorgesehen.

4.2.2.6.1. Bausteine zur Signaleingabe

Mit 7 Typen von Eingangsbausteinen werden Aufgaben der Signalanpassung und -verstärkung, Schwellwertbildung und galvanischen Trennung gelöst (Tafel 4.2.4). Die Ausgangssignale dieser Bausteine sind Systemsignale TRANSLOG 2 bzw. galvanisch getrennte Kontakte. Kontaktbehaftete Eingangsstromkreise können mit Nennspannungen bis 60 V GS betrieben werden.

4.2.2.6.2. Bausteine zur Signalverarbeitung

Mit 20 Bausteintypen gemäß Tafel 4.2.5 werden im System TRANSLOG 2 Verknüpfungen, Zeitverzögerungen, Speicher- und Signalisierungsschaltungen sowie Zähl- und Schieberegisterschaltungen realisiert. Ein Baustein erzeugt Blink- und Taktfrequenzen, ein anderer den Richtimpuls zum Löschen aller Speicher und Zähler beim Einschalten. Bis auf den Typ 2012.01 und 2012.02 sind alle Bausteine aktive Glieder.

Tafel 4.2.4. Bausteine zur Signaleingabe

Typ	Benennung	Anzahl Grundschaltungen	Eingangssignale							Ausgangssignale		
			Hand	TTL	12 V	24 V	48 V	60 V	A	12 V	G	Kontakt
2001.01	Kontakt-	3			×	×				×		
2001.02	umsetzer	3					×	×		×		
2002	Meß- und Nulltrigger	1							×	×		
2003	Tastenbaustein	3	×							×		
2004.01	Eingangsrelais	2			×						×	×
2004.02	zur Potential-	2				×					×	×
2004.03	trennung	2						×			×	×
2005	optoelektronischer Trennbaustein	1		×	×	×				×	×	
2007	Initiatortrigger	2							×	×		
2008	Initiatortrigger IS	2							×	×		

A Analogsignal; G galvanische Trennung

Tafel 4.2.5. Bausteine zur Signalverarbeitung

Typ	Benennung	Anzahl Grundschaltungen	Funktion
2011	statischer Speicher	1	RS-Speicher, wahlweise mit erhöhter Störsicherheit durch C-Beschaltung
2012.01	ODER-Baustein 3/4 passiv	2	je ein Dioden-ODER mit 3 bzw. 4 Eingängen
2012.02	ODER-Baustein Erweiterung 3/4	2	Erweiterung der Eingangszahl beim Typ 2012.01
2012.03	NOR-Baustein 3/4	2	je ein NOR-Glied mit 3 bzw. 4 Eingängen
2013	UND-Baustein 3/4	2	je ein UND-Glied mit 3 bzw. 4 Eingängen
2014	UND-Baustein 2/2/2	3	je ein UND-Glied mit 2 Eingängen
2015	ODER-Baustein 3/4	2	je ein ODER-Glied (aktiv) mit 3 bzw. 4 Eingängen, $Fa = 18$
2016	Negatorbaustein	4	4 Negatoren
2017	Äquivalenz-Antivalenz-baustein	1	Bildung der Äquivalenz von 2 Eingängen, Antivalenz durch Negation
2018	dynamischer Speicher	1	T-Flipflop zum Aufbau sequentieller Schaltungen, insbesondere Zähler
2019	Codeumsetzer	1	Umsetzung BCD in „1 aus 10"
2020	Kurzzeitglied	1	Laufzeiten 100 µs . . . 50 s, einstellbar durch *RC*-Glied
2021	Langzeitglied	1	Laufzeiten 0,75 . . . 191,25 s durch Impulsuntersetzung, Programmierung durch Außenbeschaltung
2022	Signalverzögerer	1	Laufzeiten 100 µs . . . 50 s als 0/1- oder 1/0-Verzögerung, einstellbar durch Kondensatorbeschaltung
2023	astabiler Multivibrator	1	Erzeugung von Blink- und Taktfrequenzen 0,1 Hz bis 10 kHz, einstellbar durch *RC*-Glied, Ausgang getort
2024.01	Signalisierungsbaustein Neuwert/Erstwert	1	Neuwert- oder Erstwertsignalisierung mit Blinklicht, Lampenansteuerung und Quittierung
2024.02	Signalisierungsbaustein Neuwert	1	Neuwertsignalisierung mit Blinklicht, Lampenansteuerung und Quittierung
2025	Schieberegister 4 bit	1	Zusammenschaltung zu Schiebeketten und Ringzählern möglich
2026	Vorwärtszähler 4 bit	1	Serienzähler, Codierung BCD/dual durch Brücken an der Steckfassung
2027	Vorwärts-/Rückwärtszähler 4 bit	1	BCD-Parallelzähler mit 2 getrennten Zähleingängen
2028	Richtimpulsgeber	1	Erzeugung eines Impulses (1,5 . . . 8 s) zum Löschen von Speichern und Zählern nach dem Einschalten
2029	Langzeitglied IS	1	Laufzeiten 0,1 s . . . 20 min in 6 Betriebsarten mit 4 überlappenden Bereichen und 12 Feinzeitbereichen

4.2.2.6.3. Bausteine zur Signalausgabe

Die Signalausgabe erfolgt zur Information des Bedienenden durch Leuchtanzeigen (LED) und über Schaltverstärker zur Ansteuerung von Stellantrieben. Die Lastkreise der Verstärker können mit Gleichspannung 24 V, 48 V oder 60 V betrieben werden. Die Last ist zwischen Speisespannung und Verstärkerausgang zu schalten. Bei induktiven Lasten ist es zweckmäßig, die Anschlüsse des Verbrauchers (Relais, Schütz, Magnetventil usw.) mit einer Freilaufdiode zu beschalten, die Abschaltüberspannungen abfängt. Die Eingangssignale der Verstärker sind disjunktiv verknüpft. Zum Sortiment s. Tafel 4.2.6.

Tafel 4.2.6. Bausteine zur Signalausgabe

Typ	Benennung	Anzahl Grundschaltungen	Funktion
2040	Signalanzeige	5	LED-Anzeige binärer Signale, rot
2043	Zifferanzeige	1	Darstellung einer Dezimalziffer, Ziffernhöhe 7 mm, BCD-Ansteuerung
2041	Schaltverstärker 250 mA	2	Ansteuerung von ohmschen und induktiven Ausgangsgliedern mit $U_{nenn} \leqq 60$ V, Eingänge disjunktiv verknüpft
2042	Schaltverstärker 1,5 A	1	

Tafel 4.2.7. Netzgeräte und Stabilisierungsbausteine

Typ, Benennung	Eingang	Ausgang	Baubreite	Bemerkungen
2093 Netzgerät 1	220 V WS $^{+10}_{-15}$ % Schmelzsicherung 0,125 AT	2 × 24 V ± 25 % 2 × 0,2 A	b = 165 mm, steckbar	IP 20
2094 Netzgerät 2	220 V WS $^{+10}_{-15}$ % Schmelzsicherung 0,63 AT	1 × 12 V ± 25 % 4 × 24 V ± 25 % 5 × 0,46 A	b = 330 mm, steckbar	IP 20
1511 Netzgerät 3	220 V WS $^{+10}_{-15}$ % Schmelzsicherung 4 AT	1 × 12 V ± 25 % 2 × 24 V ± 25 % 1 × 48 V ± 25 % 4 × 2 A	b = 480 mm, Einbau	IP 00, Steckfassungen für Stabilisierungsbaustein und 2 RELOG-Relais
ZNU 119-1S Netzgerät 4	3 × 220/380 V $^{+10}_{-15}$ % 3 Schmelzsicherungen 2,5 AT	2 × 24 V ± 25 % 1 × 24 oder 36 V ± 25 % 3 × 6 A	b = 480 mm, Einbau	IP 00
2090 Stabilisierungsbaustein 1	24 V GS $^{+25}_{-30}$ % Schmelzsicherung 0,5 AT	12 V ± 5 % I = 0,4 A	b = 120 mm, steckbar	IP 20, Buchse zur Speisung des Prüfstifts, 12-V-Ausgang kurzschlußfest
2092 Stabilisierungsbaustein 2	24 V GS $^{+25}_{-30}$ % Schmelzsicherung 2 AT	12 V ± 5 % I = 2,0 A	b = 120 mm, steckbar	IP 20, Buchse zur Speisung des Prüfstifs, 12-V-Ausgang kurzschlußfest

4.2.2.6.4. Stromversorgung

Zur Stromversorgung der TRANSLOG-2-Bausteine sowie der Eingangs- und Ausgangsstromkreise wurde ein Sortiment von 4 Netzgeräten und 2 Stabilisierungsbausteinen geschaffen. Die Netzgeräte stellen unstabilisierte Gleichspannungen im Bereich bis 60 V zur Verfügung. Aus der unstabilisierten Spannung U_2 = 24 V erzeugen die Stabilisierungsbausteine die Spannung U_1 = 12 V zur Speisung der Bausteine. Netzgeräte und Stabilisierungsbausteine sind aufeinander abgestimmt.

Die Ausgangsstromkreise der Netzgeräte sind voneinander galvanisch getrennt, so daß sie — unter Beachtung der Einschränkungen in den Projektierungshinweisen [4.5] — in Reihe oder parallelgeschaltet werden können. Über primärseitige Brücken bzw. Umschaltlaschen kann der Anwender eine Anpassung an den Lastbereich in drei Stufen vornehmen.

Sortiment und Hauptkennwerte der Netzgeräte und Stabilisierungsbausteine gehen aus Tafel 4.2.7 hervor.

4.2.2.6.5. Zubehör

Die Zubehörteile des Systems TRANSLOG 2 erleichtern die Montage, Inbetriebsetzung und Fehlersuche in der Steuereinrichtung. Sie umfassen diverse Kabelhalterungen, einen handbetätigten Bausteinzieher zum Herausziehen von Bausteinen und einige Geräte, die im folgenden kurz beschrieben werden.

Universalleiterplatten und Leerbausteine. Spezielle Ergänzungsschaltungen können vom Anwender auf Universalleiterplatten aufgebaut werden, die der Hersteller unbestückt liefert. Sie werden in Leerbausteine der Breite $b = 15$, 30 oder 60 mm eingebaut. Bei der Dimensionierung dieser Schaltungen ist unbedingt sicherzustellen, daß im Zusammenwirken mit den typisierten Bausteinen die Systembedingungen hinsichtlich Speisespannung, Signalpegel, Signalflanken und Lastfaktoren eingehalten werden. Dazu gehört auch, daß der Steckkontakt *1* der Speisespannung U_1 und Steckkontakt *2* dem Bezugspotential M zugeordnet wird. Nennspannungen >60 V und Ströme an den Steckkontakten >2 A sind nicht zulässig. In der Übersicht, Tafel 4.2.8, werden die wichtigsten Bauelemente genannt, die auf den drei Typen von Universalleiterplatten untergebracht werden können.

Die vorgesehenen Bestückungsplätze sind in den Projektierungshinweisen [4.5] angegeben.

Adapterleiterplatte. In ähnlicher Weise wie die Universalleiterplatten kann die Adapterleiterplatte in den Leerbaustein eingebaut werden. Sie gestattet die Herausführung von Signalkabeln an der Stirnseite des Bausteins; das andere Kabelende kann wie folgt beschaltet werden:

Tafel 4.2.8. Bauelemente zur Bestückung der Universalleiterplatten

	Lp 1	Lp 2	Lp 3
Anordnung im Leerbaustein	links	rechts	beliebig
Bestückung mit:			
DIL-Schaltkreis 14/16/18pol.	×		
Miniplasttransistor	×		
Transistor, Bauform A/B TGL 11811	×		
Leistungstransistor, Bauform E		×	
Thyristor ST 103/1		×	
Miniplastdiode	×	×	
Mehrfachdiode, TGL 24546	×		
LED	×		
Widerstand/Kondensator			
Raster 12,5/15	×		
Raster 17,5/22,5		×	
Raster 5/10/15/20/25			×
Raster 27,5/37,5		×	
Einstellregler TGL 11886		×	
Kondensator TGL 24100		×	
Relais RGK 20		×	
Relais RGK 30		×	

- mit einem weiteren Adapterbaustein, so daß ein Verbindungskabel für die Signalübertragung zwischen zwei korrespondierenden Verdrahtungsrahmen entsteht; diese Verbindung kann zu Prüfzwecken schnell aufgetrennt werden;
- mit einer speziellen Anzeige- oder Prüfeinrichtung für die aus der Steuereinrichtung abgegriffenen Signale;
- Anschluß an der Klemmenleiste des Schrankes zur Verbindung von Eingangs- bzw. Ausgangssignalen.

Schließlich läßt sich die Adapterleiterplatte ohne Signalkabel in einer speziellen Bestückung mit Drahtbrücken als Programmierstecker, z. B. für das Langzeitglied, Typ 2021, verwenden.

Service-Prüfstift. Der Prüfstift enthält je eine Bewerterschaltung für 0-Signale und 1-Signale, die mit seiner Spitze an beliebigen Punkten in der Schaltung abgegriffen werden. Die Anzeige erfolgt durch zwei eingebaute LED. Die beiden Schwellwerte wurden mit +0,5 V und +6,25 V passend zu den Systemsignalen gewählt. Der Prüfstift wird über ein fest angeschlossenes Kabel aus einer Buchse am Stabilisierungsbaustein gespeist.

Service-Prüfgerät. Dieses Gerät dient zur elektrischen Funktionsprüfung von TRANSLOG 2-Bausteinen der Baubreiten 15, 30 und 60 mm. Es trägt an der Frontplatte die Steckfassungen für den Prüfling, Bedienelemente, LED-Anzeigen für Ausgangssignale und ein Programmierfeld. Die Programmierung — Zuordnung der Eingänge und Ausgänge — nimmt der Anwender durch Laborschnüre vor. Über einen Drehschalter wird ein dual codiertes Prüfsignal erzeugt. Zusätzlich werden Analogsignale zur Prüfung des Meß- und Nulltriggers bereitgestellt. Verstärkerausgänge werden unter Last geprüft.

4.2.2.7. Anwendungshinweise

Beim Entwurf von Steuerschaltungen mit TRANSLOG-2-Bausteinen ist für jeden Bausteinausgang — außer bei Kontaktausgängen — die Belastung zu kontrollieren. Es muß $Fa \geqq \Sigma Fe$ gewährleistet sein. Geringere Belastung vergrößert den statischen Störabstand vom 1-Signal und erlaubt größere Verdrahtungslängen. Weiterhin sind die mit Flanken angesteuerten Eingänge (bei Zählern, dynamischen Speichern, Zeitgliedern) daraufhin zu überprüfen, ob sie mit systemgerechten Flanken angesteuert werden. Trifft das nicht zu, so ist ein Trigger zur Flankenregenerierung zwischenzuschalten. Dazu eignet sich u. a. der ODER-Baustein, Typ 2015. Eingangsstromkreise sind prinzipiell so zu gestalten, daß offene (leer laufende) Eingangsleitungen wegen ihrer Antennenwirkung für Störsignale vermieden werden. Nicht benutzte Eingänge von Bausteinen nehmen 0-Signal an; nicht benutzte UND-Eingänge sind daher zu anderen parallelzuschalten oder konstant an U_1 zu legen. Geberkontakte erfordern einen vom Hersteller vorgegebenen Mindeststrom, der ggf. durch zusätzliche Belastungswiderstände aufzubringen ist.

Die Signaleingabe mit völliger galvanischer Trennung ist bis zu einer Frequenz von 20 Hz mit dem Baustein Eingangsrelais, Typ 2004, möglich, Frequenzen bis 100 Hz bzw. 10 kHz werden mit dem optoelektronischen Trennbaustein, Typ 2005, beherrscht. Dieser Baustein ermöglicht auch den Übergang von ursalog 4000 bzw. TTL-Schaltkreisen auf das System TRANSLOG 2.

Die Systemausgänge der TRANSLOG-2-Bausteine vertragen bei 1-Signal einen zeitweiligen Kurzschluß mach M, jedoch nicht bei 0-Signal die direkte Verbindung mit der Speisespannung. Ein solcher Kurzschluß nach U_1 (U_2, U_4, U_5) führt zur sofortigen Zerstörung des Ausgangstransistors. Auch ein Vertauschen der Speisespannungsanschlüsse U_1 — M führt zur Zerstörung der Bausteine.

Bei Versorgungsnetzen mit gelegentlichen oder häufigen Spannungseinbrüchen kann mit Hilfe des Bausteins Umschalter (Typ 2095) und zwei bzw. drei RELOG-Relais ein stabiler Betrieb der Netzgeräte gesichert werden. In einer speziellen Schaltung wird die Spannung U_2 ständig überwacht und beim Unterschreiten eines definierten Grenzwertes die Primärseite des Netztransformators so umgeschaltet, daß die Ausgangsspannung wieder den zulässigen Bereich einhält. Dieser Schaltzustand ist zunächst zeitlich begrenzt; durch eine Brücke an der Steckfassung kann die zeitliche Begrenzung jedoch aufgehoben werden. Mit dieser Schaltung können zeit-

weilige Netzspannungseinbrüche bis herunter auf $U_{nenn} - 30\,\%$ kompensiert werden. Ein wichtiges Anwendungsgebiet sind Anlagen auf Seeschiffen, wo nach den DSRK-Vorschriften die Bordnetzspannung für die Dauer von 1,5 s auf $0{,}7\,U_{nenn}$ absinken darf. Die Anwendung ist jedoch nicht auf den Bordbetrieb beschränkt.

Um einen stabilen Betrieb einer TRANSLOG-2-Steuerung zu gewährleisten, empfiehlt es sich, Reservebausteine bereitzuhalten, und zwar von jedem in der Steuerung vorkommenden Typ ein Stück, jedoch mindestens 10 % der eingesetzten Stückzahl je Typ. Defekte Bausteine werden vom Hersteller repariert; der Anwender sollte keine eigenen Reparaturversuche unternehmen.

4.2.3. Elektronische Kartenbaugruppen

Elektronische Kartenbaugruppen für industrielle Steuerungen bestehen im allgemeinen aus einer Leiterplatte mit Steckverbindern und Frontplatte. Mit ihren Hauptabmessungen fügen sie sich in ein Gefäßsystem ein. Sie erhalten ihren äußeren Schutz durch das Gefäß, in das sie eingebaut werden. Kartenbaugruppen weisen eine größere Funktionsdichte und einen höheren Verknüpfungsgrad auf als Blockbausteine. Ihre technische Entwicklung vollzog sich von Baugruppen mit Germaniumhalbleiterbauelementen zu ausgereiften und vielseitig einsetzbaren Baugruppen mit Siliziumhalbleiterbauelementen und speziellen Schaltkreisen. Dabei konnten die Gebrauchseigenschaften entscheidend verbessert und der Einsatzbereich erweitert werden.

4.2.3.1. Einsatz elektronischer Kartenbaugruppen in der Industrie

Der industrielle Einsatz elektronischer Steuerschaltungen mit Halbleiterbauelementen stellt an die betreffenden Baugruppen bestimmte Anforderungen, auf die im folgenden eingegangen wird. Zugleich werden die Auswirkungen auf die Projektierung und auf das fertige Projekt angedeutet.

Ein elektronisches Kartenbaugruppensystem sollte folgende Eigenschaften aufweisen:

Eigenschaft	Auswirkungen
mittlere bis große Funktionsdichte	kompakter Aufbau von Steuer- und Überwachungseinrichtungen, relativ geringes Gefäßvolumen
unstabilisierte Betriebsspannungen	unkomplizierte Netzgeräte, wahlweise Batteriebetrieb, Batteriepufferung
hohe Stör- und Zerstörsicherheit	große zulässige Leitungslängen, prozeßnaher Einsatz
kurzschlußfeste Ausgänge	Einprägen von Testsignalen ohne Auftrennen von Leitungen, keine Zerstörung von Bauelementen bei Verdrahtungsfehlern
Kompatibilität zu anderen Systemen	Aufbau gemischter Anlagen, Erweiterung bestehender Anlagen, unkomplizierte Nahtstellen
großer zulässiger Bereich der Umgebungstemperatur	freizügiger Einbau in geschützte Gefäße ohne Lüfter, Betrieb unter extremen Umgebungsbedingungen
unkomplizierte Projektierung	Katalogprojektierung mit problemorientierten Baugruppen, Anwendung von Petri-Netzen
erweiterungsfähiges Sortiment vielseitig einsetzbarer Baugruppen	weitgefächertes Einsatzgebiet, Erschließung neuer Einsatzgebiete

4.2.3.2. Baugruppensystem ursalog 4000

Im folgenden wird ein System von Baugruppen, Stromversorgungseinheiten und Zubehörteilen für VPS, beschrieben, das seit 1980 im Kombinat EAW in Serienproduktion ist. Es ist Bestandteil

des Systems ursamat im Zweig ursatron und löste frühere Systeme ab. ursalog 4000 zeichnet sich durch neue Gebrauchseigenschaften aus, die für den Projektanten und Betreiber von Nutzen sind. Diese Eigenschaften werden im wesentlichen durch den Einsatz spezieller Schaltkreistypen erzielt, die die Halbleiterindustrie der DDR für das System entwickelt hat [4.10]. — Die wesentlichen Begriffe und Systemeigenschaften sind in TGL 37534 [4.11] standardisiert.

Das System ursalog 4000 wird in einer neuen Generation von Prozeßsteuerungen eingesetzt. Diese Prozeßsteuerungen wurden im Zusammenwirken mit den Betrieben des Anlagenbaus als anlagentechnische Lösung für die Prozeßautomatisierung konzipiert. Ihr Einsatz erfolgt vor allem in Kraftwerken, Zementfabriken, Chemieanlagen, metallurgischen Betrieben und Textilbetrieben sowie zur Steuerung von nichtnumerischen Be- und Verarbeitungsmaschinen. Das Lösungskonzept ist optimiert für verbindungsprogrammierte Steuerungen (VPS) mit einer relativ großen Anzahl von Eingängen und Ausgängen und einer mittleren Verarbeitungstiefe.

Die Aufgabe von industriellen Steuerungen besteht darin, entsprechend der erforderlichen Funktionsweise eines technologischen Prozesses die Stellglieder der Aggregate bedingungs- und zeitabhängig zu steuern, so daß der Prozeß in einem hohen Grade automatisch abläuft. Dabei werden für die Abbildung von Zuständen der Prozeßkomponenten, Signale der Bedienung und Signale hierarchisch übergeordneter Einrichtungen eingegeben. Das bewährte Prinzip der hierarchischen Gliederung des strukturellen Aufbaus in mehreren Ebenen kann bei Projekten mit ursalog 4000 beibehalten werden. Im Abschnitt 5.1.1. ist dafür ein Beispiel angegeben.

4.2.3.3. Konstruktiver Aufbau

Der konstruktive Aufbau der Baugruppen und Geräte erfolgt auf der Grundlage des Einheitlichen Gefäßsystems der Elektrotechnik (EGS).

4.2.3.3.1. Baugruppen

Die Baugruppen sind als ungeschützte Karteneinschübe (KES) mit einer Plastfrontplatte ausgeführt (Bild 4.2.5). Die Breite der Frontplatte beträgt 20 mm, in Ausnahmefällen 40 mm. Für die

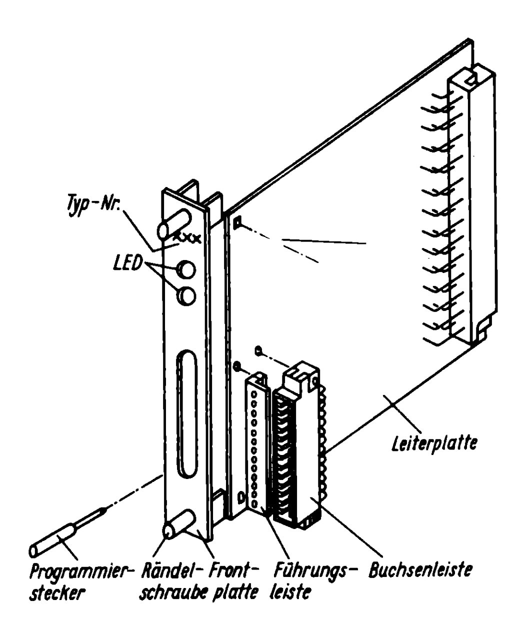


Bild 4.2.5
Konstruktiver Aufbau einer Baugruppe

Leiterplatten wurden die Abmessungen 95 mm × 170 mm (Baugruppenhöhe 120 mm) und 215 mm × 170 mm (Baugruppenhöhe 240 mm) gewählt. Jede Baugruppe wird mit zwei unverlierbaren Rändelschrauben im EGS-Baugruppeneinsatz befestigt. An der Rückseite der Baugruppe ist ein (oder zwei) 44poliger Steckverbinder des Einheits-Flachsteckverbindersystems (EFS) angeordnet. Die konstruktive Form der Baugruppen sichert für die Frontseite der Steuereinrichtung einen schutzisolierten Aufbau und ermöglicht eine gute Abführung der Verlustwärme ($P \leqq 6$ W für eine 120 mm hohe und 20 mm breite Baugruppe) durch Konvektion.

Die Frontplatte enthält bei einzelnen Baugruppentypen Anzeige- und Bedienelemente. Dabei handelt es sich um

- Schiebetastenschalter
- Miniaturdrehschalter
- Schichtpotentiometer
- Sicherungshalter
- Programmierbuchsen
- Lichtemitterdioden (LED)
- LED-Ziffernanzeigeelemente.

Die Bedienelemente gestatten die Einstellung und Auswahl von Betriebsarten, Zeitwerten und anderen Parametern sowie Eingangssignalen. Die Farben der LED — Grün, Gelb, Rot — wurden den Bedeutungen der anzuzeigenden Signale zugeordnet, dabei wurden geltende Standards, insbesondere TGL 12468 [4.12], berücksichtigt. Ferner ist auf der Frontplatte ein Beschriftungsfeld mit der Typnummer vorhanden.

Bei Baugruppen mit einer oberen Betriebsspannung > 50 V WS oder > 60 V GS sind daneben befindliche Leerplätze mit Blindfrontplatten abzudecken. In der Verdrahtungsebene sind die betreffenden Buchsenleisten mit Abdeckkappen zu versehen. Die Kappe wird auf je zwei obere und untere Haken der Kammschiene geschoben. Außerdem muß verhindert werden, daß auf einen solchen Bestückungsplatz eine für andere Betriebsspannungen ausgelegte Baugruppe gesteckt werden kann. Bei Baugruppen für höhere (berührungsgefährliche) Betriebsspannungen werden daher vom Hersteller die Stifte B2 und B28 der Steckerleiste entfernt. Vom Anwender sind diese Buchsen der Buchsenleiste mit je einem Codierschieber 5 nach TGL 29331/04 abzudecken.

Die Baugruppen werden einzeln verpackt geliefert. Die Verpackung besteht aus zwei gleichen Plasthalbschalen, die formschlüssig ineinandergreifen. Sie eignet sich für einen Temperaturbereich von —40 bis +70 °C und ist stapelfähig.

4.2.3.3.2. Gefäße

Für den Einbau der mit Baugruppen bestückten Baugruppeneinsätze in Gefäße des Einheitlichen Gefäßsystems (EGS) steht eine Vielzahl von Bauformen mit unterschiedlichem Schutzgrad zur Verfügung. Das Spektrum reicht vom Einbaugehäuse und Aufbaugehäuse über Pulte bis zu Schränken und offenen Gestellen. Durch Auswahl und geeignete Kombination dieser Gefäße kann allen Anforderungen in bezug auf den Umfang der Steuereinrichtung und hinsichtlich der Bedingungen am Aufstellungsort entsprochen werden.

Die natürliche Abführung der im Gefäß umgesetzten Verlustwärme durch Konvektion, Wärmeleitung und Wärmestrahlung ist in den meisten Einsatzfällen ausreichend. Die Kenndatenblätter der Baugruppen [4.13] [4.14] enthalten dazu die Angabe der maximalen Verlustleistung. In den Projektierungshinweisen [4.15] sind Richtwerte für die Wärmeabgabe von EGS-Gefäßen enthalten. Daraus ist zu entnehmen, daß es nur in Grenzfällen erforderlich ist, Lüfter einzusetzen.

Die elektrische Verbindung der Baugruppen untereinander erfolgt durch Wickelverdrahtung im rückwärtigen Verdrahtungsrahmen. Dieser ist mit zwei Kammschienen zur Drahthalterung und vier Stromschienen zur Zuführung von Betriebsspannungen und Bezugspotentialen (M, M^*) ausgerüstet. Die Wickelpfosten der Buchsenleisten und der Stromschienen haben einen Querschnitt 0,5 mm × 1,0 mm und gestatten die Verdrahtung mit Schaltdraht 0,3 oder 0,5 mm Dmr. Aufgrund der „schwimmenden" Anordnung der Buchsenleisten empfiehlt sich die Heranführung der Drähte mit einer Schleife.

4.2.3.4. Einsatzbedingungen

Beim Einsatz des Baugruppensystems sind die folgenden Umgebungsbedingungen nach TGL 22500/03 und TGL 24951 einzuhalten:

- für Baugruppen und Stromversorgungseinheiten —10/+65/ 30/80//2102
- für Baugruppenprüfgerät und Eingabe/Ausgabegerät +5/+45/ 25/85//2101
- für Logiktester —10/+45/ 25/85//2102.

Die obere Grenztemperatur ist durch die zulässige Beanspruchung bestimmter Bauelemente gegeben; sie gilt für die Anordnung der Baugruppen in ruhender Luft und ohne gegenseitige Beeinflussung.

Für Lagerung und Transport gelten die folgenden Bedingungen:

- Lagerung bei —10 ... +70 °C (—40 ... +70 °C für höchstens 1 Monat/Jahr) und höchster Temperatur-Feuchte-Kopplung 30/90
- Transport bei —10 ... +70 °C (—40 ... +70 °C für höchstens 1 Monat/Jahr) und höchster Temperatur-Feuchte-Kopplung 33/90.

Die Funk-Entstörung wird vom Anwender im Rahmen der Gesamtanlage vorgenommen.
Die Schutzgrade betragen für

- Baugruppen und Stromversorgungseinheiten IP 00
- Baugruppenprüfgerät IP 10
- Eingabe-/Ausgabegerät IP 20
- Logiktester IP 40.

4.2.3.5. Funktionelle Parameter

Die funktionellen Systemparameter bestimmen im wesentlichen die Gebrauchseigenschaften des Erzeugnisses; sie sind für alle Baugruppen, Stromversorgungseinheiten und Zubehörteile verbindlich. Bei der Entwicklung weiterer Systembestandteile sind sie zu berücksichtigen.

4.2.3.5.1. Allgemeine Parameter

Die bei der Entwicklung erzielten funktionellen Parameter sind in Tafel 4.2.9 zusammengestellt. Sie weisen aus, daß die Speisung der Baugruppen mit unstabilisierten Netzgeräten erfolgen kann und daß eine Arbeitsfrequenz für die Signalverarbeitung von $\leqq 100$ Hz bzw. $\leqq 10$ kHz gewährleistet ist. Die Kurzschlußfestigkeit aller Systemausgänge gegen die Speisespannung U_1 und gegen das Bezugspotential (M) ermöglicht dem Anwender das Einprägen von Testsignalen ohne Auftrennen von Verbindungsleitungen.

Die Ansteuerung der Baugruppen von peripheren Gebern und Kontakten erfolgt vorzugsweise mit der Spannung $U_1 = +24$ V bei möglicher Verwendung der Hilfsspannung $U_4 = -24$ V und mit einem Kontaktstrom von 5 ... 10 mA. Durch geeignete Anschaltung des Gebers und Verwendung des 1-Signals als auslösendes Signal werden gefährliche Fehlerauswirkungen bei Erdschluß und Drahtbruch wirksam verhindert. Die Hilfsspannung erhöht die Kontaktsicherheit; bei ihrem Ausfall ist jedoch die richtige Signaleingabe weiterhin gesichert.

Um das ungewollte Einschalten von Stellgliedern, besonders bei Erdschluß, zu vermeiden, wird bei den Laststromkreisen der Verstärker die Last zwischen Ausgang und Bezugspotential geschaltet. Außerdem wurde auf solche Schaltungen orientiert, die zur Wahrung der Zerstörfestigkeit kurzschlußfest gegen Betriebsspannung und Bezugspotential sind. Die Ausgangsströme wurden im System wie folgt vereinheitlicht:

- 3 mA/24 V GS für die Informationsverarbeitung
- 250 mA/24 V GS für die Ansteuerung von Schaltanlagen über Relais oder Verstärker
- 1,5 ... 3,0 A/24 ... 60 V GS für die Ansteuerung von Stellgliedern mit Gleichspannung
- 1,5 ... 3,0 A/220 V WS für die Ansteuerung von Stellgliedern mit Wechselspannung.

Tafel 4.2.9. Funktionelle Parameter der Systems ursalog 4000

Netzspannung	$U_N = 220\ V\ ^{+10}_{-15}\%$ und $3_\sim$ 220/380 V $^{+10}_{-15}\%$	
Netzfrequenz	$f_N = 47{,}5 \ldots 63$ Hz	
Betriebsspannung für Baugruppen	$U_1 = +24\ V \pm 25\%$	
Hilfsspannungen für Eingangs- und Ausgangsbaugruppen	$U_2 = +48\ V \pm 25\%$ $U_3 = +60\ V \pm 25\%$ $U_4 = -24\ V \pm 25\%$	
Bezugspotential	$M = 0\ V$	
Signalpegel	am Ausgang auftretend	am Eingang erforderlich
0-Signal	$U_A \leqq 1\ V$	$U_E \leqq 5{,}5\ V$
1-Signal	$U_A \geqq U_1 - 3{,}8\ V$	$U_E \geqq 9{,}3\ V$
Statischer Störabstand		
vom 0-Signal	$U_{St0} \geqq 4{,}5\ V$	
vom 1-Signal	$U_{St1} \geqq 3{,}5\ V$	
Lastfaktoren	Fe = [1] Fa = [10]	
Ausgänge	kurzschlußfest	
Max. Arbeitsfrequenz	100 Hz bzw. 10 kHz	
Max. Taktfrequenz	15 kHz	
Zerstörgrenzen		
Betriebsspannung	$U_1 = 35$ V während $t \leqq 500$ ms	
Eingangsspannung	$U_E = -30 \ldots +50$ V dauernd $U_E = \pm 150$ V während $t \leqq 6\ \mu s$[1])	
Ausgangsspannung	$U_A = \pm 150$ V während $t \leqq 6\ \mu s$[1])	
Max. Leitungslängen (Richtwerte)		
Informationsverarbeitungsebene	$l \leqq 500$ m	
Schaltanlage, Stellglieder	$l \leqq 350$ m	
Geber (Leiterschleife)	$l \leqq 800$ m	

[1]) max. Wiederholfrequenz 300 Hz

Weiterhin kann durch einfache technische Mittel die Kopplung mit systemfremden Elementen, die andersartige Signalpegel aufweisen, erfolgen. Ausgangsseitig geschieht das durch die Steuerung des Ausgangssignalpegels, indem die Versorgungsspannung des nachgeschalteten Systems einem speziellen Steuereingang zugeführt wird. Eingangsseitig erfolgt die Anpassung mit einem Sortiment unterschiedlicher Eingangsbaugruppen, soweit nicht die Toleranz der Signalpegel eine unmittelbare Anschaltung der systemfremden Signale zuläßt.

Die Baugruppen des Systems realisieren die Funktionen der Signaleingabe, -verarbeitung und -ausgabe. Die Schaltungen werden durch Schaltkreise sowie Dioden und in einigen Fällen durch Relais mit Schutzgaskontakten realisiert. Das 1-Signal wurde im Sinne der positiven Logik dem höheren Spannungspegel zugeordnet, es ist im allgemeinen das auslösende Signal. Im folgenden werden einige der im System angewandten Schaltungsprinzipien erläutert.

4.2.3.5.2. Schaltungen mit dem Schaltkreis Typ D 410

Wesentlicher Bestandteil zahlreicher Teilschaltungen ist der kurzschlußfeste Treiberschaltkreis mit Eingangslogik (KTSE) Typ D 410. Er hat ein 16poliges DIL-Gehäuse; seine logische Struktur und Anschlußbelegung ist im Bild 4.2.6 dargestellt. Daraus ist ersichtlich, daß alle logischen Funk-

tionen des Systems auf dem Sperr-UND und der UND-ODER-NICHT-Logik aufbauen. Die ODER-Funktion wird durch vor- oder nachgeschaltete Dioden realisiert. Bei 1-Signal fließt der Eingangsstrom in den Schaltkreis hinein; dadurch wird Leitungsbruch, Erdschluß oder ein nicht beschalteter Eingang als 0-Signal gewertet.

Die Zerstörsicherheit der Eingänge und Ausgänge entsprechend den Werten in Tafel 4.2.9 wird in Verbindung mit vorgeschalteten Widerständen *R1* und nachgeschalteten Widerständen *R2* erreicht. Der Widerstand *R1* = 5,6 kΩ 2% fängt Überspannungen an den Eingängen ab, der Widerstand *R2* = 560 Ω 2% gewährleistet die Kurzschlußsicherheit. Ein Kurzschluß darf für beliebige Zeitdauer sowohl zwischen Ausgang und U_1 (bei 0-Signal) als auch zwischen Ausgang und *M* (bei 1-Signal) auftreten. Die Widerstände *R1* und *R2* werden auf der Baugruppe nur denjenigen Eingängen und Ausgängen zugeordnet, die mit den Kontakten des Steckverbinders direkt verbunden sind.

Das &2 des Schaltkreises hat einen *C*-Anschluß für einen Kondensator, der nach *M* geschaltet wird. Damit kann eine maximale Zeitverzögerung (Laufzeit) t_{V01} zwischen Eingangsflanke 0/1 und Ausgangssignal von etwa 10 s erreicht werden. Bei Rückgang des Eingangssignals von 1 auf 0 vergeht eine Zeit $t_{V10} \approx 0{,}3 t_{V01}$, bis das Ausgangssignal dem Eingangssignal folgt. Mit diesem Schaltkreis lassen sich daher Laufzeiten im Bereich bis 10 s in verschiedenen Betriebsarten erzielen. Weiterhin gestattet die *C*-Beschaltung die Einstellung verschiedener Geschwindigkeitsbereiche (Verzögerungsbereiche) für einen Speicher nach Bild 4.2.7. Der Kondensator *C* verleiht dem *RS*-Speicher eine Setzverzögerung sowie eine Rücksetzverzögerung. Für das System wurde *C* für zwei Verzögerungsbereiche Vb ① und Vb ② ausgelegt. Da auftretende Störsignale nur an speichernden Gliedern bleibende Veränderungen der Signalzustände bewirken können, bleibt die vorgeschaltete Logik ungebremst. Die Schaltungen der beiden Verzögerungsbereiche unterscheiden sich auch in der zulässigen Störladung und Leitungslänge. Schließlich hat der Kondensator die Aufgabe, alle Speicher, Zähler und Schieberegister beim Zuschalten der Speisespannung in die Nullstellung zu bringen. Eine gesonderte Erzeugung eines Richtimpulses ist daher nicht erforderlich.

Die auf diese Weise verzögerten Schaltungen sind vom Hersteller auf Vb ① eingestellt; sie können vom Anwender durch Entfernen von Kondensatoren wahlweise auf Vb ② umgestellt werden. Die zugehörigen Laufzeiten und Störladungen gehen aus Tafel 4.2.10 hervor. Die Laufzeiten werden zwischen 50% des Endwertes der Eingangs- und Ausgangsspannung gemessen. Die Zähler- und Registerbaugruppen sind vom Hersteller auf eine maximale Zähl- bzw. Taktfrequenz von etwa 100 Hz eingestellt. Sie können vom Anwender durch Entfernen von Kondensatoren auf eine maximale Zähl- bzw. Taktfrequenz von 10 ... 15 kHz umgestellt werden. Das gilt für ein Tastverhältnis $t_1/t_0 = 1$.

Für die problemorientierten Baugruppen gilt allgemein Vb ①. Alle anderen Grundschaltungen

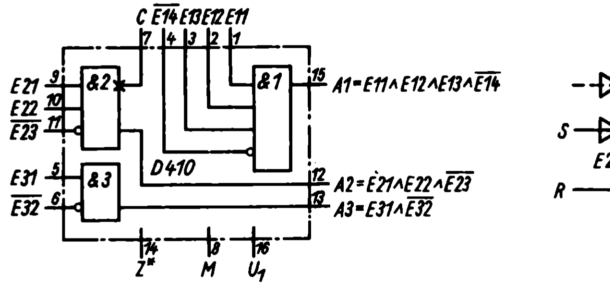


Bild 4.2.6.
D 410, Anschlußbelegung und logische Struktur

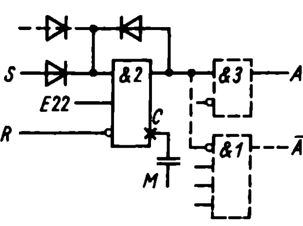


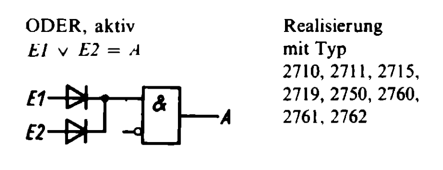
Bild 4.2.7. RS-Speicher

Tafel 4.2.10. Verzögerungsbereiche im System ursalog 4000

Vb ①			Vb ②	
	Laufzeit ms	typische Störladung As	Laufzeit µs	typische Störladung As
t_{v01}	5 ... 8 ... 14	$1{,}6 \cdot 10^{-6}$	65 ... 80 ... 100	$16 \cdot 10^{-9}$
t_{v10}	1,4 ... 2,5 ... 4,6	$0{,}5 \cdot 10^{-6}$	20 ... 40 ... 65	$8 \cdot 10^{-9}$

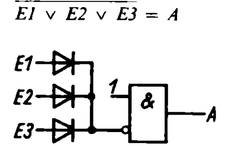
typische Werte unterstrichen

ODER, aktiv
$E1 \vee E2 = A$



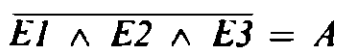
Realisierung mit Typ 2710, 2711, 2715, 2719, 2750, 2760, 2761, 2762

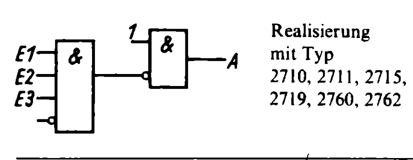
NOR
$\overline{E1 \vee E2 \vee E3} = A$



Realisierung mit Typ 2711, 2760, 2761

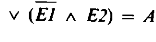

NAND

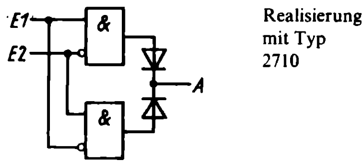

$\overline{E1 \wedge E2 \wedge E3} = A$



Realisierung mit Typ 2710, 2711, 2715, 2719, 2760, 2762

Antivalenz
$(E1 \wedge \overline{E2})$

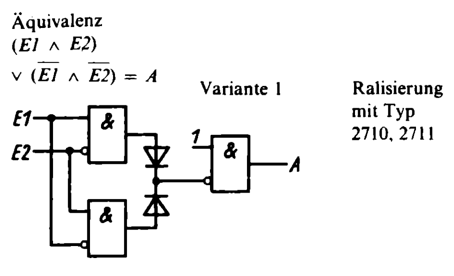

$\vee (\overline{E1} \wedge E2) = A$



Realisierung mit Typ 2710

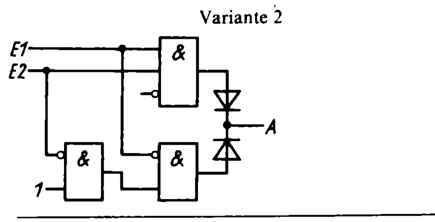
Äquivalenz
$(E1 \wedge E2)$
$\vee (\overline{E1} \wedge \overline{E2}) = A$

Variante 1

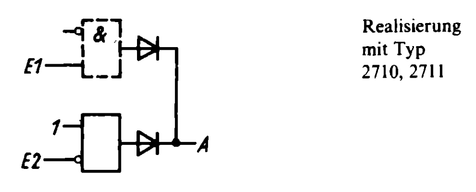


Ralisierung mit Typ 2710, 2711

Variante 2



Implikation
$E1 \vee \overline{E2} = A$



Realisierung mit Typ 2710, 2711

Bild 4.2.8
Verknüpfungsschaltungen mit dem Schaltkreis D 410 und ODER-Dioden

und Baugruppen zur Signalverarbeitung haben keine externe Begrenzung der Schaltfrequenz. Sie können daher mit Signalen entsprechend Vb ① oder Vb ② betrieben werden. Für die Anstiegs- und Abfallzeiten der Eingangssignale gibt es im System keine Begrenzung. Die Flankenzeiten der durch den Schaltkreis D 410 erzeugten Ausgangssignale (Systemsignale) betragen bei ohmscher Last etwa 1 µs. Alle nichtverzögerten Glieder des D 410 haben eine typische Signallaufzeit von 4,5 µs.

Dieses Schaltungskonzept verbietet im System generell die Ansteuerung mit Signalflanken, die sog. dynamische Ansteuerung. Jedes Nutzsignal, insbesondere jedes Signal an den Eingängen eines Speichers, Zeitgliedes oder Zählers bzw. Schieberegisters muß während einer definierten Mindestzeitdauer ständig anliegen, um die beabsichtigte Wirkung zu erzielen. Störsignale mit kürzerer Wirkungsdauer richten nichts aus, auch wenn sie den statischen Störabstand überschreiten.

Der Schaltkreis D 410 realisiert ohne Verwendung zusätzlicher Bauelemente die Verknüpfungsfunktionen UND, Sperr-UND sowie die Negation, mit zwei Gliedern auch die NAND-Funktion. Weitere Verknüpfungsfunktionen lassen sich unter Verwendung von Dioden nach Bild 4.2.8

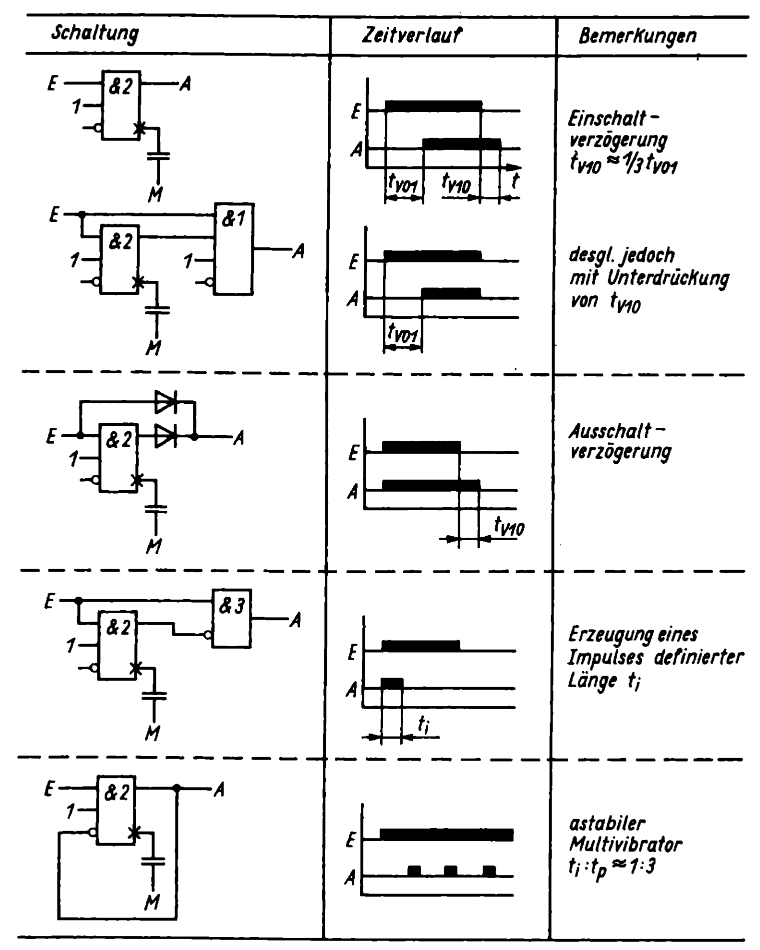


Bild 4.2.9
Zeitschaltungen mit &2

verwirklichen. Die Schaltung des *RS*-Speichers wurde bereits im Bild 4.2.7 dargestellt. Mit vorgeschalteten Dioden lassen sich dabei weitere *R*- und *S*-Eingänge in ODER-Verknüpfung herstellen. Wird der Ausgang $\bar{A}$ benötigt, so ist ein Negator nachzuschalten. Der Löscheingang (Rücksetzeingang) *R* hat dominierendes Verhalten. Wird dem Ausgang *A* ein weiteres Glied nachgeschaltet, so bleibt der Speicherinhalt auch bei Kurzschluß an dessen Ausgang erhalten. Das wurde bei den Baugruppen, die *RS*-Speicher enthalten, bereits realisiert.

Für die Dimensionierung des Kondensators *C* zur Erzeugung von Laufzeiten bis 10 s gilt

$$t_V \approx 0{,}2C ;$$

t_V in s, C in µF.
Das Eingangssignal muß während t_V aufrechterhalten werden. Störsignale mit einer Einwirkungsdauer unterhalb t_V bewirken keine Änderung des Ausgangssignals.

Zeitschaltungen mit dem &2 des Schaltkreises D 410 sind im Bild 4.2.9 zusammengestellt.

Über den Anschluß Z^* können die 1-Signal-Pegel aller drei Ausgänge des Schaltkreises D 410 im Bereich von etwa 1 V bis U_1 so gesteuert werden, daß ein Übergang auf andere Systeme von Baugruppen oder Schaltkreisen ohne zusätzliche Anpassungsglieder erfolgen kann. Dabei wird Z^* mit der Speisespannung U_S des fremden Systems verbunden, und es stellt sich eine Ausgangsspannung $U_A \approx U_Z$, ein. Werden mit dem Schaltkreis D 410 wieder Eingänge des eigenen Systems angesteuert, so bleibt Z^* unbeschaltet.

4.2.3.5.3. Schaltungen mit Zeitschaltkreisen

Schaltungen für größere Laufzeiten wurden mit Zeitschaltkreisen aufgebaut, die nach dem Prinzip der Frequenzteilung arbeiten und enge Zeittoleranzen sowie lange Laufzeiten ermöglichen. Durch codierte Steuersignale können unterschiedliche Betriebsarten (Anzugs- und Abfallverzögerung, monostabile Funktion) und die einzelnen sich überlappenden Zeitbereiche angewählt werden. Über vor- und nachgeschaltete UND-Glieder des Schaltkreises D 410 werden die Signale der Zeitschaltkreise an die Systemparameter angepaßt. Ihre spezielle Speisespannung wird auf der Baugruppe aus U_1 erzeugt.

4.2.3.5.4. Schaltungen mit Zähl- und Schieberegister-Schaltkreisen

Schaltungen zur Realisierung von Zähl- und Registerfunktionen wurden mit CMOS-Schaltkreisen aufgebaut. Dabei konnten die funktionellen Vorzüge dieser Schaltkreise und die höhere Funktionsdichte benutzt werden. Signal- und Speisespannungsanpassung erfolgen wie bei den Zeitschaltkreisen.

4.2.3.5.5. Schaltungen mit dem Schaltkreis Typ U 805

Die Baugruppen für die Antriebssteuerungen werden in einer hohen Stückzahl mit einer umfangreichen, stets gleichbleibenden Logik benötigt. Für diese Aufgaben wurde der spezielle Antriebssteuerschaltkreis (ASSK) Typ U 805 entwickelt. Dieser Schaltkreis mit 28 Anschlüssen realisiert alle Verknüpfungs-, Speicher- und Zeitfunktionen zur Ansteuerung eines Antriebs mit einer Drehrichtung und fester Drehzahl. Er wird eingangs- und ausgangsseitig mit Gliedern des D 410 beschaltet, so daß an den Anschlüssen der Baugruppen die Systembedingungen gewährleistet sind. Auch die Speisespannung des U 805 wird auf der Baugruppe erzeugt. Mit zwei derartigen Schaltkreisen und entsprechender äußerer Beschaltung wurde auf einer Baugruppe die vollständige Steuerung für einen Zwei-Richtungs-Antrieb mit allen Verriegelungs- und Überwachungsfunktionen untergebracht.

4.2.3.6. Sortiment

Das Sortiment der Baugruppen und Geräte wurde bei Beginn der Entwicklung mit den künftigen Hauptanwendern sorgfältig abgestimmt. Es wird in den folgenden Abschnitten vorgestellt und kurz erläutert.

Tafel 4.2.11. Baugruppen zur Signaleingabe

Typ	Benennung	Anzahl Grundschaltungen	Eingangssignale								Ausgangssignale			
			Hand	S	TTL	12 V	48 V	60 V	220 V~	A	T	S	K	Grenzfrequenz
2701	Kontakteingangsbaugruppe 1	8		×			×	×				×		5 ... 10 Hz
2709	Kontakteingangsbaugruppe 2	16										×		50 Hz
2702	Tastenbaugruppe	4	×								×	×		
2703	optoelektron. Trennbaugruppe	4		×	×	×					×	×		100 Hz/10 kHz
2704	Initiatortriggerbaugruppe	3								×		×		100 Hz/10 kHz
2705	Meß- und Nulltriggerbaugruppe	1								×		×		10 kHz
2707	Relaistrennbaugruppe	4							×		×		×	2 Hz
2708	Initiatoranpassungsbaugruppe	8									×	×		2,5 kHz
2706	Kontaktbelastungsbaugruppe	20	zusätzliche Belastung von Geberkontakten mit $n \cdot 10$ mA (bei 24/48/60 V)											

A Analogsignal; T galvanische Trennung; S Systemsignal; K potentialfreier Kontakt

4.2.3.6.1. Baugruppen zur Signaleingabe

Mit 9 Typen von Eingangsbaugruppen erfolgt die Anpassung der unterschiedlichen binären, impulsförmigen und analogen Eingangssignale an das Systemsignal. Bei kontaktbehafteten Eingängen (Typ 2701 und 2709) wird gleichzeitig die Entprellung und Belastung der Geberkontakte mit 10 mA vorgenommen. Wahlweise kann mit der Kontaktbelastungsbaugruppe, Typ 2706, die weitere Belastung der Geberkontakte mit Strömen zwischen 10 und 100 mA vorgenommen werden. Die optoelektronische Trennbaugruppe (Typ 2703) gestattet für 4 binäre Signale die problemlose Kopplung mit anderen Systemen und Schaltkreisen, z. B. TRANSLOG 2 und TTL, bei völliger galvanischer Trennung und Grenzfrequenzen von 100 Hz bzw. 10 kHz. Die Initiatortriggerbaugruppe (Typ 2704) wird zur Überwachung von vorgegebenen Grenzwerten und Sollwerten elektrischer Größen verwendet. Weiterhin können Thermistoren und Fototransistoren als Geber angeschlossen werden. Die Initiatoranpassungsbaugruppe (Typ 2708) wird von maximal 8 induktiven Initiatoren angesteuert. Zur Handeingabe binärer Signale einschließlich Rückmel-

Tafel 4.2.12. Universelle Baugruppen zur Signalverarbeitung

Typ	Anzahl Grundschaltungen	Benennung	Funktionen
2710	9	UND-Baugruppe	UND, Sperr-UND, Negation,
2711	6 (+3 Sperr-UND)	ODER-Baugruppe	ODER, NOR, NAND, Äquivalenz, Antivalenz, *RS*-Speicher, Zeitglieder bis 10 s, astabiler Multivibrator, Pegelanpassung (nur Typ 2710)
2712	8	diodenprogrammierbare Baugruppe	passive ODER
2715	4 (+5 Sperr-UND)	*RS*-Speicherbaugruppe	*RS*-Speicher, UND, Sperr-UND, Negation, ODER
2716	4	*RS*-Haftspeicherbaugruppe	*RS*-Haftspeicher, galvanische Trennung, Kontaktausgang
2717	7 bzw. 4	Zustandsspeicherbaugruppe	COREX-Struktur 7 bit (4 bit), 3 Busleitungen
2718	2	Registerbaugruppe	4-bit-Schieberegister/Ringzähler, wahlweise Haftspeicherbetrieb
2719	2 (+3 UND)	Vorwärts-/Rückwärtszählerbaugruppe	4-bit-V/R-Zähler, UND, Sperr-UND, Negation, ODER, *RS*-Speicher, wahlweise Haftspeicherbetrieb
2721	2	Codierbaugruppe	Codierung BCD → $\binom{10}{1}$
2723	2 (+1 *RS*-Speicher)	Kurzzeitbaugruppe 1	0,1 s ... 10 min in 4 Bereichen, Einschalt-/Ausschaltverzögerung, Kippfunktion, astabiler Multivibrator
2724	1	Langzeitbaugruppe	0,1 s ... 10 d in 8 Bereichen, Funktionen wie Typ 2723
2725	4	Kurzzeitbaugruppe 2	0,1 s ... 120 s in 3 Bereichen, Einschalt-/Ausschaltverzögerung, Wischfunktion, wahlweise Ferneinstellung
2760	4	Verknüpfungsbaugruppe 1	UND, Sperr-UND, Negation,
2761	5	Verknüpfungsbaugruppe 2	ODER, *RS*-Speicher (Funktionen
2762	6	Verknüpfungsbaugruppe 3	teilweise vorverknüpft)
2713		bestückbare Ergänzungsbaugruppe	Universalleiterplatte, Bestückung durch den Anwender

dung dient schließlich die Tastenbaugruppe mit 4 rastenden Tasten (Typ 2702.01) oder 4 nichtrastenden Tasten (Typ 2702.02).

Die Signale aller Eingangsbaugruppen werden an den Frontleisten durch grüne Lichtemitterdioden (LED) angezeigt; damit ist ein schneller Überblick über die jeweilige Eingangssignalbelegung gegeben. Das Sortiment der Eingangsbaugruppen geht aus Tafel 4.2.11 hervor.

4.2.3.6.2. Baugruppen zur Signalverarbeitung

Ein abgerundetes Sortiment von 17 Baugruppentypen erfüllt die Aufgaben der Signalverarbeitung durch Verknüpfen, Speichern, Verzögern, Zählen und Codieren. Bei den Verknüpfungen werden die Funktionen des Schaltkreises D 410 sowie die ODER-Funktion, die durch Dioden realisiert wird, auf den Baugruppen direkt zur Verfügung gestellt. Bei der UND-Baugruppe 2710 kann auch, wie bereits beschrieben, der Z^*-Anschluß des Schaltkreises aktiviert und genutzt werden.

Zwei Kurzzeitbaugruppen (Typ 2723 und 2725) für Laufzeiten zwischen 0,1 s und 10 min bzw. 120 s und eine Langzeitbaugruppe (Typ 2724) für Laufzeiten zwischen 0,1 s und 10 Tagen erfüllen die Funktionen der Einschalt- und Ausschaltverzögerung sowie weitere Zeitfunktionen. Die Langzeitbaugruppe steht in zwei Varianten mit unterschiedlicher Zeiteinstellung zur Verfügung. Zur Programmierung der Variante Typ 2724.02 dient die diodenprogrammierbare Baugruppe Typ 2712.

Je eine Baugruppe mit zwei Schieberegistern bzw. zwei Vorwärts-/Rückwärtszählern zu je 4 bit ergänzen das Sortiment. Die Zähler können durch ein binäres Steuersignal vom BCD-Code auf den Dualcode umgeschaltet werden. Zähler und Schieberegister sowie die Haftspeicherbaugruppe bewahren den Zähler- bzw. Speicherinhalt auch bei Ausfall und Wiederkehr der Speisespannung. Die Zähler und Register benötigen dazu eine unstabilisierte Hilfsspannung.

Die Zustandsspeicherbaugruppe Typ 2717.01 (abgerüstet Typ 2717.02) ermöglicht in Verbindung mit den zugehörigen Verknüpfungsbaugruppen Typ 2760, 2761 und 2762 den Aufbau von Folgesteuerungen mit multistabilen Speichern nach einem systematischen Entwurf (s. a. Abschn. 4.2.3.7.). Sie kann aber auch vorteilhaft als Störungsspeicher im Sinne einer Letztwert- oder Erstwertsignalisierung eingesetzt werden.

Zum Aufbau spezieller Teil- und Ergänzungsschaltungen dient die bestückbare Ergänzungsbaugruppe Typ 2713, die vom Anwender nach eigenen Vorstellungen mit unterschiedlichen Bauelementen und Schaltkreisen bestückt werden kann. Die damit verwirklichten Schaltungen sind so zu dimensionieren, daß im Zusammenwirken mit den Baugruppen des übrigen Typensortiments die Systembedingungen eingehalten werden.

Eine Übersicht über das Sortiment der Baugruppen zur Signalverarbeitung gibt Tafel 4.2.12.

4.2.3.6.3. Problemorientierte Baugruppen

Die in Tafel 4.2.13 zusammengefaßten Baugruppen enthalten in sich abgeschlossene Schaltungen zur Lösung spezieller Aufgaben bei industriellen Steuerungen [4.16] [4.17].

Die Antriebsbaugruppen (Typ 2742, 2743, 2744) dienen zur Steuerung und Überwachung von Antrieben mit fester Drehzahl und einer bzw. zwei Drehrichtungen, die als Stellantriebe mit Endbegrenzung oder als durchlaufende Antriebe ausgebildet sein können.

Taktketten unterschiedlicher Länge können mit der Taktkettenbaugruppe (Typ 2747) und weiteren ergänzenden Baugruppen (Typ 2748, 2750, 2751) zusammengestellt werden. Dabei sind auch Verzweigungen im Signaldurchlauf möglich. Ein Anwendungsbeispiel, ausgeführt als Start-Ziel-Steuerung, ist in den Projektierungshinweisen [4.15] erläutert.

Einige problemorientierte Baugruppen haben an der Frontplatte Simulationsbuchsen, an denen durch Programmierstecker Signale aus dem gesteuerten Prozeß simuliert werden können. Auf diese Weise kann die vollständige Funktion der Steuerschaltung überprüft werden, ohne die gesteuerten Antriebe selbst einzuschalten.

Tafel 4.2.13. Problemorientierte Baugruppen

Typ	Benennung	Anzahl Grundschaltungen	Funktionen
2742	Einfach-Antriebsbaugruppe (EFA)	3	Ansteuerung von 3 Ein-Richtungs-Antrieben mit vereinfachter Überwachungs- und Meldefunktion, LED-Anzeige „Antrieb EIN", „Störung", 6 Simulationsbuchsen, $h = 240$ mm
2743	Ein-Richtungs-Antriebsbaugruppe (EA)	1 (+2 Sperr-UND)	Ansteuerung eines Ein-Richtungs-Antriebs mit programmierbarer Hochlaufzeit, LED-Anzeige „EIN", „Störung", „Steuerung vor Ort", „Elektrische Störung", 6 Simulationsbuchsen, $h = 240$ mm
2744	Zwei-Richtungs-Antriebsbaugruppe (ZA)	1	Ansteuerung eines Zwei-Richtungs-Antriebs mit und ohne Endlagenbegrenzung, mit programmierbarer Hochlauf- und Reversierzeit, LED-Anzeige „AUF", „ZU", „Störung", 5 Simulationsbuchsen, $h = 240$ mm
2747	Taktkettenbaugruppe (TK)	3	dreistufige Taktkette mit Vorbereitungs- und Fortschalteingängen, Zusammenschaltung mehrerer Baugruppen möglich, LED-Anzeige „Taktkette angeregt", 5 Simulationsbuchsen
2748	Vorwahl- und Verriegelungsbaugruppe (VV)	3	Vorwahl und Verriegelung von Gruppenbefehlen bei übergeordneten Steuerungen
2750	Startbefehlsbaugruppe (SB)	1	Startbefehlseinheit für eine Taktkette mit einer Ablaufrichtung, LED-Anzeige „Störung", „Hochlauf/Betrieb", 2 Simulationsbuchsen
2752	Betriebsartenbaugruppe (BA)	1	Steuerung von 3 Betriebsarten im Zusammenwirken mit der Taktkettenbaugruppe und Startbefehlsbaugruppe, LED-Anzeige „Automatik", „Schritt", „Hand"
2752	Taktgeberbaugruppe	1 (+1 Sperr-UND)	Erzeugung der Taktfrequenzen $f_1 \approx 1$ Hz und $f_2 \approx 2$ Hz, Durchschaltung und Überwachung der zentralen Taktfrequenz f, LED-Anzeige „Störung"
2746	Kondensatorbaugruppe	6	Stützung der Speisespannung U_1 bei Typ 2743 und 2744

4.2.3.6.4. Baugruppen zur Signalausgabe

Mit 9 Baugruppentypen werden im Rahmen der Signalausgabe Aufgaben der Anzeige und Leistungsverstärkung erfüllt. Zur Anzeige an der Frontplatte der Baugruppen gelangen binäre und impulsförmige Signale sowie Ziffernwerte. Der Strombereich der Verstärker erstreckt sich von 0,25 bis 3,0 A (6,0 A) bei Gleichspannungen bis 60 V. Sie eignen sich zur Ansteuerung von Lampen sowie Relais, Magnetventilen und anderen induktiven Verbrauchern. Die Laststromkreise der Verstärker sind kurzschlußfest. Nach Aufhebung eines Kurzschlusses kehren sie selbsttätig in den

Tafel 4.2.14. Anzeige- und Verstärkerbaugruppen

Typ	Benennung	f_{max}	Anzahl Grund-schaltungen	I_{max}	U_{nenn}	Bemerkungen
2730	LED-Anzeige-baugruppe		8			Anzeige von binären Signalen, grün bzw. rot
2731	LED-Ziffernan-zeigebaugruppe		1			Darstellung einer Dezimalziffer, BCD-Ansteuerung
2732	3-A-Verstärker-baugruppe	1 Hz	3	3 A (6 A)	24 V	kurzschlußfest
2734	0,25-A-Verstär-kerbaugruppe	50 Hz[1]	4	0,25 A (0,325 A)	24 V	kurzschlußfest
2735	1,5-A-Verstär-kerbaugruppe	0,5 Hz	2	1,5 A (3 A)	24 ... 60 V	kurzschlußfest
2736	Verstärker-Relais-Baugruppe 1	50 Hz	4	0,5 A	220 V WS 110 V GS	externe Sicherung
2738	Verstärker-Relais-Baugruppe 2	1 Hz	4	0,5 A	220 V WS 30 V GS	externe Sicherung
2739	Triac-Verstärker-baugruppe	1 Hz	2	3 A	220 V WS	interne Sicherung, galvanische Trennung durch Optokoppler
2737	Relaisbaugruppe	50 Hz	6	0,5 A	220 V WS	max. Schaltleistung 20 W, Erregerspannung 24 bzw. 48/60 V

[1]) bei ohmscher Last

Einschaltzustand zurück, sofern die Ansteuersignale noch anliegen. Mit der Triac-Verstärkerbaugruppe, Typ 2739, können Wechselspannungslastkreise bis 220 V und 3,0 A angesteuert werden. Hierbei sind die Laststromkreise mit einem Überstromschutz versehen. Diese Baugruppe ist auch in einer Variante im Aluminiumgehäuse und mit Klemmenleiste im Angebot. Sie eignet sich u. a. zur Montage in der Nähe des Verbrauchers, auch unabhängig von einem Gefäßsystem.

Tafel 4.2.14 enthält das Sortiment der Anzeige- und Verstärkerbaugruppen.

4.2.3.6.5. Stromversorgung

Die Baugruppen zur Signalverarbeitung und weitere Baugruppen werden aus den Stromversorgungseinheiten (SVE) des Systems mit $U_1 = +24$ V $\pm$ 25% gespeist. Diese Spannung kann auch für Eingangs- und Ausgangsstromkreise verwendet werden. Für Stromkreise mit höherer Spannung werden von den SVE die Spannungen $U_2 = +48$ V $\pm$ 25% und $U_3 = +60$ V $\pm$ 25% bereitgestellt. Die jeweiligen Grenzwerte der Speisespannungen ergeben sich bei voller Ausnutzung des Lastbereichs (15 ... 100%) Nennlast), des Toleranzbereichs der Netzspannung ($^{+10}_{-15}$%) und des Temperaturbereichs in der jeweils ungünstigsten Kopplung. Mit Umschaltlaschen auf der Prinärseite der Transformatoren wird dem Anwender zusätzlich eine Lastanpassung in 3 Stufen ermöglicht. Die Kenndatenblätter der SVE enthalten dazu die Lastkennlinien.

Das Sortiment umfaßt vier SVE mit abgestuften Leistungsbereichen:

Typ	Primärspannung	Sekundärspannung	Sekundärstrom	b mm
1513	$3 \times 380/220$ V $^{+10\,\%}_{-15\,\%}$	24 V ± 25%	8 A	240
1514.10	$3 \times 380/220$ V $^{+10\,\%}_{-15\,\%}$	2×24 V ± 25% 1×24 bzw. 36 V ± 25%	2×6 A 1×6 bzw. 5 A	480
1514.20	$3 \times 380/220$ V $^{+10\,\%}_{-15\,\%}$	2×24 V ± 25% 1×48 bzw. 60 V ± 25%	2×6 A 1×3 bzw. 2,4 A	480
1512	220 V $^{+10\,\%}_{-15\,\%}$	2×24 V ± 25%	$2 \times 0{,}3$ A	120

Die Gleichspannungen an den galvanisch voneinander getrennten Ausgängen können unter Beachtung einiger Richtlinien [4.15] in Reihe oder parallelgeschaltet werden. Auch die Speisung einer größeren Einrichtung aus mehreren nur über *M* verbundenen SVE ist zulässig.

Die Sekundärstromkreise sind intern abgesichert. Bei Ausfall eines Strangs des Drehstromnetzes wird ein potentialfreier Relaiskontakt betätigt. Dieses Meldesignal kann zur Abschaltung, Umschaltung auf eine andere Speisequelle oder lediglich zur Signalisierung benutzt werden. Gleichzeitig leuchtet eine rote LED an der Frontplatte der Stromversorgungseinheit auf.

Die Speisespannungen werden den Baugruppen über Stromschienen an den Baugruppeneinsätzen zugeführt. Dabei kann U_1 (oder U_2, U_3) über die Sicherungsbaugruppe (Typ 2780) auf einzeln abgesicherte Speiseleitungen aufgeteilt werden. Durch entsprechende Anordnung der Speisestromkreise läßt sich erreichen, daß sich Speisespannungsausfälle durch das Auslösen von Sicherungen (Kurzschluß, Überlast) nur auf bestimmte, in sich abgeschlossene Teilschaltungen auswirken. Die Sicherungsbaugruppe überwacht drei Speisestromkreise mit Ansprechwerten der Schmelzsicherungen $I \leqq 2$ A. Im Bild 4.2.10 ist die Teilschaltung für einen dieser drei Zweige dargestellt. Die Speisespannung (U_1, U_2 oder U_3) wird an *E1* zugeführt und hinter der Schmelzsicherung an *A1* abgegriffen. Hat die Sicherung ausgelöst, so leuchtet die zugehörige rote LED auf, an *A2* erscheint 1-Signal und — sofern es die erste ausgelöste Sicherung war — an *A3* ein Impuls von ≈60 ms Dauer. Dieser Impulsausgang ist für alle drei Zweige gemeinsam. Die Meldeausgänge sind über Dioden entkoppelt. Mehrere Meldeausgänge können daher in einer Anlage direkt zusammengefaßt und z. B. zum Setzen eines Störungsspeichers benutzt werden.

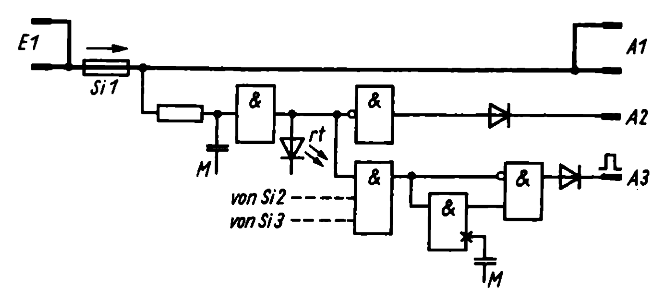


Bild 4.2.10. Sicherungsbaugruppe Typ 2780.01, Teilschaltung

4.2.3.6.6. Zubehör

Aus dem Sortiment der Zubehörteile werden im folgenden das Baugruppenprüfgerät, das Eingabe-/Ausgabegerät (E/A-Gerät) und der Logiktester beschrieben.

Baugruppenprüfgerät. Mit dem Baugruppenprüfgerät kann eine einfache Funktionsprüfung einer Baugruppe des Systems vorgenommen werden. Das netzgespeiste Gerät erzeugt die Be-

triebsspannungen und Eingangssignale für den Prüfling. Über rastende Tasten können 41 binäre Eingangssignale und über Potentiometer drei analoge Signale eingegeben sowie über LED 42 binäre und impulsförmige Signale angezeigt werden. An Telefonbuchsen kann der Bedienende spezielle Eingangssignale eingeben oder Ausgangssignale zur Bewertung und Kontrolle abgreifen.

Durch eine aufgelegte Programmkarte, deren Beschriftung für jeden Baugruppentyp die Benennung und Zuordnung der Eingänge und Ausgänge angibt, werden die für den jeweiligen Prüfling benötigten Tasten, Buchsen und LED erreichbar gemacht und die anderen abgedeckt. Auf diese Weise ergibt sich eine übersichtliche Prüfung, und Fehlbedienungen werden weitgehend verhindert. Bild 4.2.11 zeigt das geöffnete Gerät in der Draufsicht mit der Programmkarte für die Baugruppe Typ 2701.

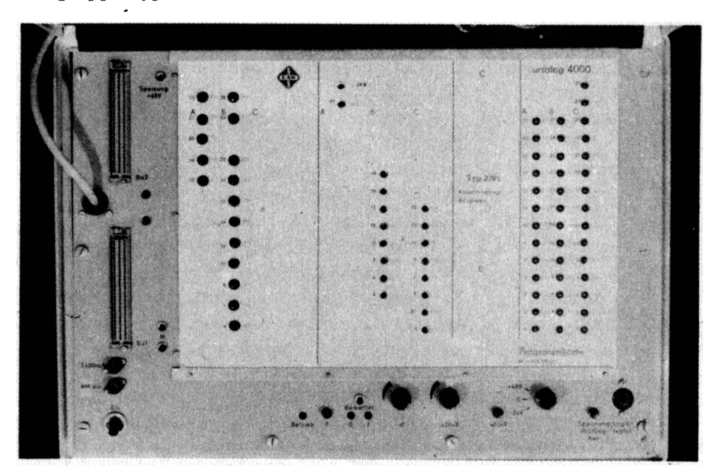


Bild 4.2.11. Baugruppenprüfgerät ursalog 4000

Bei der Anwendung des Baugruppenprüfgeräts kann eine vollständige oder teilweise Funktionsprüfung vorgenommen werden. Bei komplizierten Baugruppen empfiehlt sich zuvor die Anfertigung von Prüfschritt-Tabellen, die zeilenweise abgearbeitet werden.

Eingabe-/Ausgabegerät. Das E/A-Gerät dient zur Adaptierung von Baugruppen in Verbindung mit Adapterkabeln und Adapterbaugruppen. Es kann bis zu zwei Baugruppen der Höhe 120 mm oder eine Baugruppe der Höhe 240 mm aufnehmen. Diese Baugruppen bleiben über Adapterkabel mit der Steuereinrichtung verbunden, aus der sie entnommen wurden. Sie werden auch von dort weiter mit Speisespannung versorgt. Am Gerät können bis zu 16 binäre Signale bei freier Zuordnung zu den Eingängen und Ausgängen der Prüflinge angezeigt und eine beliebige Zahl binärer Signale über Laborschnüre eingegeben werden.

Über diese Betriebsart hinaus läßt sich das Gerät auch zur Erprobung von Teilschaltungen nutzen, die sich aus mehreren Baugruppen zusammensetzen. Dazu wird es aus einem geeigneten 24-V-Netzgerät (z. B. Typ 1512) oder aus dem Baugruppenprüfgerät gespeist. Das Baugruppenprüfgerät kann eine weitere Baugruppe aufnehmen; es bietet den Vorteil der Signaleingabe mit Tasten. Über Laborschnüre werden die Signale innerhalb des E/A-Geräts und zwischen E/A-Gerät und Baugruppenprüfgerät übertragen. Mit zwei E/A-Geräten und einem Baugruppenprüfgerät können so Schaltungen im Umfang von 5 Baugruppen getestet werden, bevor sie in das Projekt aufgenommen werden. Schaltungsänderungen sind dabei durch Umstecken von Laborschnüren leicht zu realisieren. Auch die Bestimmung und Koordinierung von Laufzeiten kann in der Versuchsschaltung erfolgen, ohne dabei den gesteuerten Prozeß zu gefährden.

Logiktester. Der Logiktester (Prüfstift) ursalog 4000 wird mit Vorteil zur Überprüfung einzelner Systemsignale angewendet. Er enthält je eine Bewerterschaltung und LED-Anzeige für das 0-

Signal und das 1-Signal. Die zu kontrollierenden Signalpegel werden mit der Spitze des Logiktesters an Ein- oder Ausgängen abgegriffen. Bei 0-Signal leuchtet die grüne LED, bei 1-Signal die rote. Bei offenem Eingang oder Signalen im verbotenen Bereich zwischen 0-Signal und 1-Signal leuchtet keine der beiden LED. Kurze Impulse werden so weit gedehnt, daß ein für das Auge sichtbarer Impuls entsteht.

Der Logiktester wird über ein zweiadriges Kabel mit Stecker aus einer Stromversorgungseinheit, aus dem Baugruppenprüfgerät oder aus dem E/A-Gerät mit U_1 gespeist.

4.2.3.7. Anwendungshinweise

Bei der Projektierung von Steuereinrichtungen mit dem System ursalog 4000 können die bekannten intuitiven und systematischen Entwurfsverfahren ohne Einschränkung verwendet werden. Ablaufsteuerungen lassen sich besonders vorteilhaft mit Automatengraphen (Steuergraphen) in der Form der Petri-Netze [4.18] projektieren. Petri-Netze sind Strukturen allgemeiner Art, die sich aus Plätzen *Z* (Zustandsknoten) und gerichteten Transitionen *T* aufbauen. Plätze werden durch Kreise mit eingetragener Zählnummer *Zi*, Transitionen durch Linien mit Pfeilen symbolisiert. Der Übergang z. B. von *Z4* nach *Z5* kann nur erfolgen, wenn alle zugehörigen Bedingungen, z. B. $Z3 \wedge T4$, erfüllt sind. In diesem Fall kann der Übergang nach *Z4* nur von *Z3* aus erfolgen. Hinter jedem Platz *Z* (in Wirkungsrichtung) kann das Ausgangssignal *AZ* (Stellsignal, Meldesignal) abgegriffen werden. Petri-Netze treten als gerade oder verzweigte Ketten oder als Ringe auf. Ringe ermöglichen einen zyklischen Steuerablauf. Dabei sind einfache und mehrfache Vermaschungen zulässig.

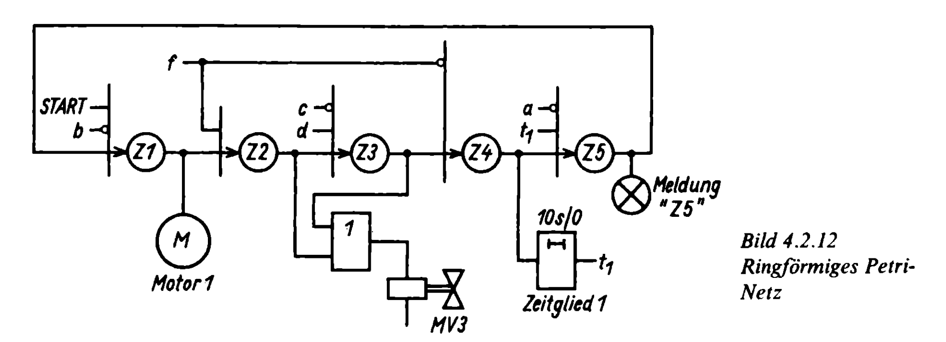


Bild 4.2.12
Ringförmiges Petri-Netz

Ein ringförmiges Petri-Netz mit 5 Zuständen *Z1* ... *Z5* ist im Bild 4.2.12 dargestellt. Die Bedingungen für die Transition (Weiterschaltung) von einem Zustand zum nächsten sowie die Zuordnung der Ausgänge ergeben sich daraus wie folgt:

Bedingung	Zustand	Ausgang	Wirkung
$Z5 \wedge \bar{b} \wedge$ START	*Z1*	*AZ1*	Motor *1* EIN
$Z1 \wedge f$	*Z2*	*AZ2*	Magnetventil *3* EIN
$Z2 \wedge \bar{c} \wedge d$	*Z3*	*AZ3*	Magnetventil *3* EIN
$Z3 \wedge \bar{f}$	*Z4*	*AZ4*	START Zeitglied *1* (10 s)
$Z4 \wedge t_1 \wedge \bar{a}$	*Z5*	*AZ5*	Meldung „*Z5*", Bereitschaft zum Neustart

Die wahlfreie Weiterschaltung ermöglicht auch das Überspringen von Zuständen — Auslassen von Bearbeitungsschritten — und die einmalige oder mehrmalige Wiederholung von Teilen einer Kette — nochmalige Bearbeitung bis zum Erreichen eines vorgegebenen Parameters, s. Bild 4.2.13.

Nach Bild 4.2.13a erfolgt die Weiterschaltung von *Z5* nach *Z6*, wenn m = 1-Signal, jedoch von *Z5* nach *Z8*, wenn m = 0-Signal ist. In diesem Fall werden *Z6* und *Z7* übersprungen. Bild 4.2.13b zeigt einen Steuergraphen mit Wiederholung der Schritte *Z2* und *Z3*, wenn n = 0-Signal.

Bei Steuergraphen mit Verzweigungen und Zusammenführungen können die parallelen Zweige gleichzeitig oder alternativ durchlaufen werden. Im ersten Fall (Bild 4.2.14a) erfolgt der Übergang von *Z2* nach *Z5* und *Z7* gleichzeitig, und die beiden parallelen Zweige werden bis *Z6* bzw. *Z9*

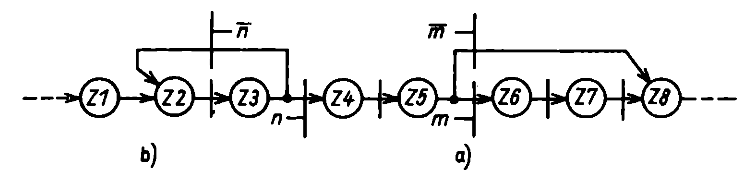


Bild 4.2.13. Petri-Netz mit a) Überspringen und b) Wiederholen von Zuständen

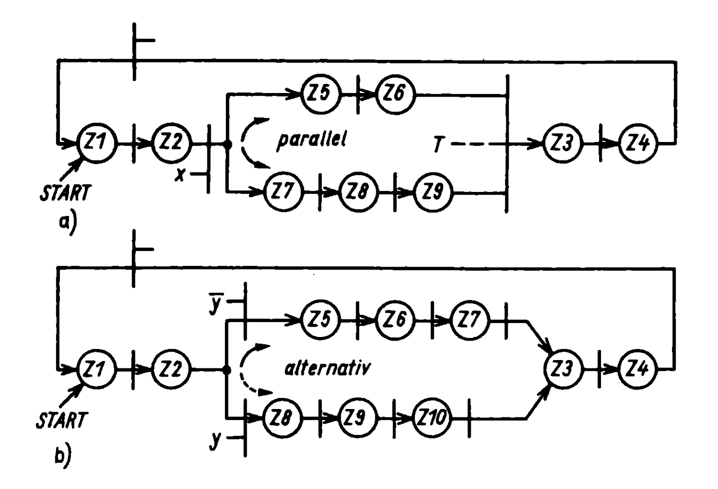


Bild 4.2.14
Petri-Netz mit Verzweigung und Zusammenführung
a) parallel
b) alternativ

unabhängig voneinander durchlaufen. Ist die Bedingung $Z6 \wedge Z9$ erfüllt, so erfolgt der Übergang nach *Z3*. *Z4* beendet den Durchlauf und ermöglicht den nächsten Start. Mit diesem Graphen könnte die gleichzeitige Bearbeitung eines Werkstücks mit zwei voneinander unabhängig arbeitenden Werkzeugen einschließlich Zuführung (*Z1*, *Z2*) und Abtransport (*Z3*, *Z4*) dargestellt werden. In die Transition nach *Z3* könnte noch ein Signal T von einer übergeordneten Steuerung eingefügt werden, das den Abtransport des bearbeiteten Werkstücks erst zu einem definierten Zeitpunkt freigibt.

Im Bild 4.2.14b ist der alternative Durchlauf von zwei Zweigen eines Graphen dargestellt. In Abhängigkeit vom Steuersignal y wird entweder der Strang *Z5* bis *Z7* oder der Strang *Z8* bis *Z10* durchlaufen. Der Übergang nach *Z3* erfolgt von *Z7* ODER *Z10*. Die technische Realisierung dieses Graphen könnte die unterschiedliche Bearbeitung eines Werkstücks in Abhängigkeit von Eigenschaften des Rohlings oder vom Auftrag (Signal y) sein.

Eine besonders einfache Umsetzung des Petri-Netzes in eine Steuerschaltung ermöglicht die Zustandsspeicherbaugruppe (Typ 2717). Sie umfaßt eine komplexe Speicherschaltung mit sieben bzw. vier aktiven Schaltzuständen und einer Nullstellung. Bei jedem aktiven Zustand hat genau einer der Ausgänge *AZ* 1-Signal, alle übrigen führen 0-Signal. Der Übergang (die Transition) zu einem anderen Zustand erfolgt dann, wenn die Sperr-UND-Bedingung $T1 \wedge T2 \wedge \overline{T3}$ an den zuge-

hörigen Eingängen erfüllt ist. Die Schaltung kann von jedem beliebigen Zustand *AZi* in jeden beliebigen anderen Zustand *AZj* übergehen, ohne dabei andere Zustände *AZ* zu überlaufen. Diese Funktion wird durch Flip-flop-Schaltungen der Struktur „Master-Slave“ mit zusätzlichen Logikgliedern bewirkt. Über je einen statischen und dynamischen Löscheingang kann die Baugruppe aus jedem aktiven Zustand in die Nullstellung (alle *AZ* haben 0-Signal) geschaltet werden. Über LED an der Frontleiste werden die Ausgangssignale angezeigt.

Neben der Normalausführung mit 7 bit (Typ 2717.01) wird die Baugruppe auch in einer abgerüsteten Variante mit 4 bit angeboten. Durch Kombination der beiden Typen kann für jede Anzahl von Schaltzuständen in einer Steuerung eine gute Baugruppenausnutzung erreicht werden. Baugruppen, die zu einer Kette im Petri-Netz gehören, können über drei Busleitungen so zusammengeschaltet werden, daß die Bedingung für die Ausgangssignale von „1 aus 4“ bis auf maximal „1 aus 70“ in beliebigen Schritten erweitert wird. Bei nicht voll ausgenutzten Baugruppen bleiben die nicht benötigten Ausgänge frei, und die zugehörigen Eingänge werden blockiert.

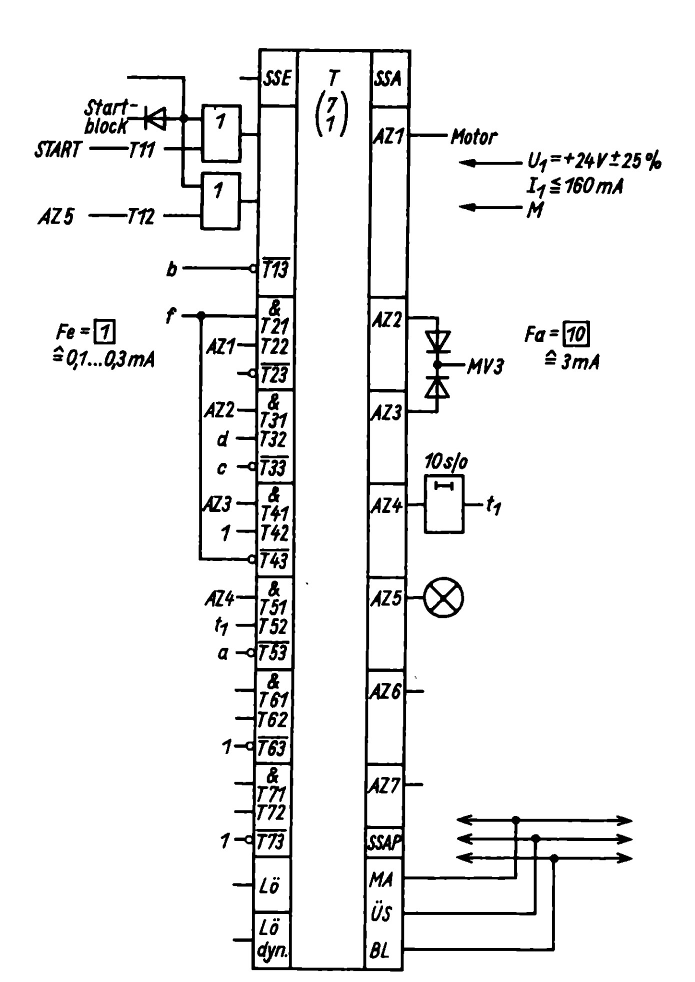


Bild 4.2.15
Baugruppe Typ 2717.01, Logikbild

Das Logikbild der Baugruppe, Typ 2717.01, geht aus Bild 4.2.15 hervor; darin ist für das Petri-Netz nach Bild 4.2.12 die Belegung der Eingänge und Ausgänge eingetragen. Der Übergang vom Petri-Netz zum Logikplan ist bei der Projektbearbeitung nur ein Arbeitsschritt!

Die Zustandsspeicherbaugruppe eignet sich vor allem zur Realisierung von asynchron arbeitenden Ablaufsteuerungen in allen Bereichen der Industrie (s. a. [4.20]). Jeder am gesteuerten Objekt auftretende Zustand wird einem Schaltzustand der Baugruppe(n) fest zugeordnet. Das betrifft auch außergewöhnliche Betriebszustände, wie Störungen. Die Weiterschaltung erfolgt in Abhängigkeit von Signalen aus dem gesteuerten Objekt, von Laufzeiten oder durch Handeingabe (Start, Freigabe, Quittierung, Störung). Falls die Sperr-UND-Bedingung an den drei Eingängen eines jeden Zustands nicht ausreicht, kann sie mit Verknüpfungsbaugruppen der Typen 2710, 2711, 2760, 2761 und 2762 erweitert werden.

Die Projektierung mit dem System ursalog 4000 erfordert die Kenntnis der Kenndatenblätter [4.13] [4.14] und der Projektierungshinweise [4.15]. Diese Unterlagen enthalten auch die einheitlichen Kurzbezeichnungen, die in der Dokumentation angewendet werden und deren Benutzung auch dem Anwender zu empfehlen ist.

Nach Ausarbeitung des Logikplans nimmt der Projektant dessen Einteilung auf die typisierten Baugruppen vor. Die einfachen Zusammenschaltungsbedingungen erfordern dabei lediglich die Kontrolle, ob an allen Systemausgängen $Fa \geqq \Sigma Fe$ ist. Bei der folgenden Eintragung der Anschlußbezeichnungen in den Logikplan sollte auf einem getrennten Blatt laufend die Baugruppenausnutzung notiert werden. Nicht genutzte Teilschaltungen bleiben in Reserve und stehen bei Funktionserweiterungen zur Verfügung. Aus dem Logikplan mit den eingetragenen Anschlußbezeichnungen läßt sich die Verdrahtungsliste herauslesen. Schließlich wird die Anordnung der Baugruppen in den EGS-Baugruppeneinsätzen festgelegt — möglichst in einer sinnvollen Folge von der Signaleingabe über die Signalverarbeitung zur Signalausgabe. Die Verstärkerbaugruppen werden zweckmäßig in der Nähe der SVE angeordnet, um mit kurzen Masse- und Stromversorgungsleitungen auszukommen.

Die hohe Störsicherheit und Zerstörfestigkeit der Baugruppen garantiert einen sicheren Betrieb der Steuereinrichtung. Eine Vertauschung der Anschlüsse von U_1 und M ist jedoch unbedingt zu vermeiden, da dies zur Zerstörung von Schaltkreisen auf den Baugruppen führt. Daher empfiehlt sich in der Inbetriebsetzungsphase die Einfügung einer Gleichrichterdiode in die Speisespannungszuführung, die bei Falschpolung sperrt.

Um die Anlage beim Ausfall von Baugruppen schnell wieder in Betrieb nehmen zu können, empfiehlt es sich, Reservebaugruppen bereitzuhalten, und zwar von jedem in der Einrichtung vorkommenden Typ ein Stück, mindestens jedoch 10% der eingesetzten Stückzahl je Typ. Defekte Baugruppen werden vom Hersteller repariert; der Anwender sollte keine eigenen Reparaturversuche unternehmen.

4.3. Speicherprogrammierbare Steuereinrichtungen

Die Entwicklung und Anwendung speicherprogrammierbarer Steuereinrichtungen (SPS), international auch unter den Bezeichnungen PC (Programmable Controller) sowie PLC (Programmable Logic Controller) bekannt, begann im Weltmaßstab Anfang der 70er Jahre. Die seitdem entstandene Vielfalt technischer Lösungen ist derart breit, daß sich eine zusammenfassende Beschreibung auf die wesentlichen gemeinsamen Merkmale beschränken muß:

- problemunabhängige Hardware
- weitgehend modularer Aufbau mit den wesentlichen Modulen: zentrale Verarbeitungseinheit (ZVE), Programmspeicher, Eingabe, Ausgabe
- stufenweise Rüstbarkeit durch Programmspeicher-, Eingabe- und Ausgabemodule (ausgenommen bei Mini- und Kompakt-SPS)
- Festlegung der problemspezifischen Funktion durch Software des Anwenders (Anwendersteuerprogramm)

— das Steuerprogramm enthält eine Folge von Anweisungen, die sequentiell und meist zyklisch abgearbeitet werden
— die Menge der verwendbaren Typen von Anweisungen ist mindestens auf eine Form strukturbezogener Steueralgorithmen orientiert, d. h. auf logische Einzelsignalverarbeitung.

SPS wurden bis etwa 1980 vorwiegend nur für mittelgroße bis große Steuerungsprobleme mit hohem Verarbeitungs- und Speicheranteil entwickelt und eingesetzt. Durch die rasante Entwicklung der Schaltkreisintegration und die gleichzeitige Preisdegression mikroelektronischer Bauelemente hat sich bis heute die Anwendungsgrenze zu Kleinststeuereinrichtungen mit vergleichsweise 12 bis 20 Schützen und Relais verschoben. Kompakte Kleinststeuereinrichtungen sind in der Regel nicht modular rüstbar.

In den folgenden Kapiteln werden der allgemeine Aufbau und die wesentlichen Module von SPS beschrieben, wobei auf spezielle Modifikationen nicht eingegangen werden kann. Daran anschließend werden die SPS aus dem System ursalog vorgestellt.

4.3.1. Allgemeiner Aufbau

Die Blockstruktur (Bild 4.3.1) speicherprogrammierbarer Steuereinrichtungen entspricht weitgehend der konventioneller Prozeßrechner. Eine zentrale Verarbeitungseinheit generiert in Abhängigkeit von Eingangsinformationen nach einem vorgegebenen Eingangs-/Ausgangsverhalten Ausgangsinformationen. Das Eingangs-/Ausgangsverhalten bzw. der Steuerungsablauf wird

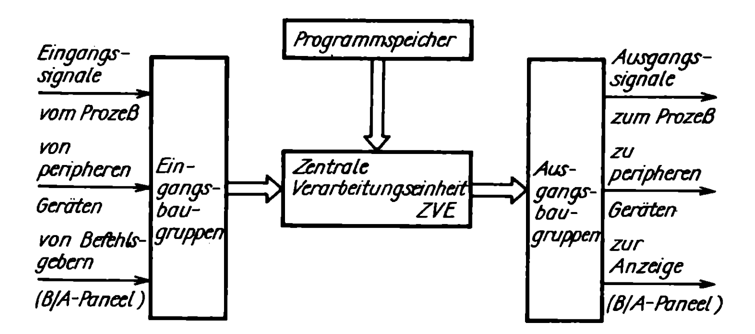


Bild 4.3.1. Allgemeine Blockstruktur speicherprogrammierbarer Steuereinrichtungen

sequentiell durch eine Folge von im Programmspeicher abgelegten Befehlen bestimmt. Die Eingangssignale, Träger der Eingangsinformationen, kommen vom zu steuernden Prozeß und auch von anderen peripheren Geräten und Befehlsgebern eines Bedien-/Anzeigepaneels zur Mensch-Maschine-Kommunikation. Sie werden in Eingangsbaugruppen gefiltert, ggf. potentialgetrennt, an den SPS-internen Signalpegel angepaßt und teilweise auch zwischengespeichert. Die Ausgangsinformationen werden in Ausgangsbaugruppen zwischengespeichert und stehen als Ausgangssignale ggf. über Potentialtrennung, Signalanpassung und -verstärkung zur gezielten Beeinflussung des Prozeßablaufs über Stellglieder (Relais, Schütze, Magnete, Kupplungen, Ventile usw.) oder auch zur Steuerung anderer peripherer Geräte und zur Zustandsanzeige für den Bediener zur Verfügung.

Der Art des Programmspeichers, Träger des serialisierten Steueralgorithmus, kommt besondere Bedeutung zu. Damit sind die leichte Änderbarkeit eingegebener Programme und auch die Sicherheit des Speicherinhalts festgelegt. Im Bild 4.3.2 wurde eine Klassifizierung von SPS auf der Grundlage der Art ihrer Programmspeicher vorgenommen. In der Regel werden austausch- und frei programmierbare Speicher in sinnvoller Kombination verwendet; letztere insbesondere als

operative Datenspeicher. Frei programmierbare Halbleiterspeicher, die bei Ausfall der Stromversorgung ihren Speicherinhalt verlieren, werden batteriegepuffert oder nur in der Test- und Inbetriebsetzungsphase der SPS als Programmspeicher eingesetzt. Der Trend geht zu elektrisch änderbaren Speichern (EAROM), die ohne Entnahme aus der Baugruppe und aufwendige Löschprozedur mehrfach umprogrammiert werden können und ihren Speicherinhalt auch ohne Hilfsenergie halten.

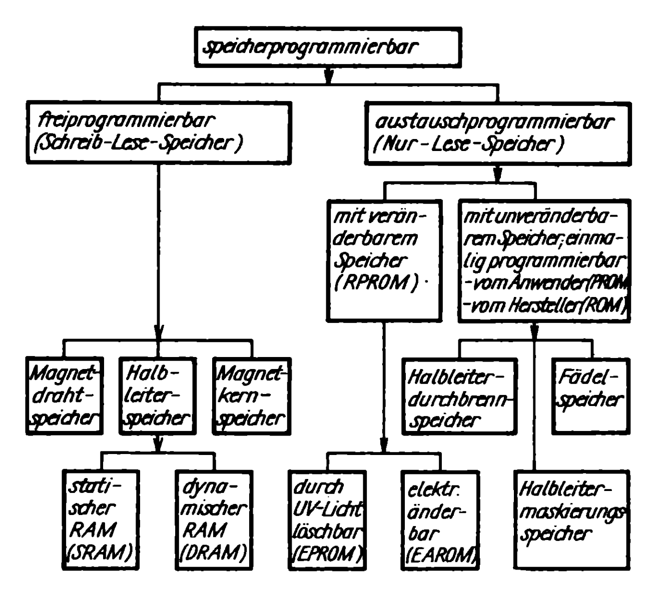


Bild 4.3.2. Klassifizierung von SPS nach der Art ihrer Programmspeicher

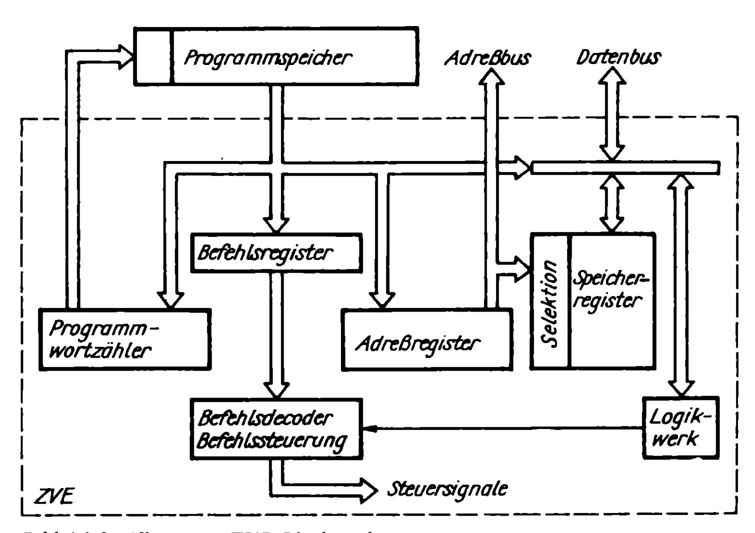


Bild 4.3.3. Allgemeine ZVE-Blockstruktur

Konstruktion und Anwendung der in SPS eingesetzten wortorganisierten Halbleiterspeicher unterscheiden sich nicht von denen der bekannten Mikrorechner.

Die entscheidenden Merkmale der SPS sind in ihrer ZVE und, insbesondere bei Anwendung konventioneller MP, im Programmsystem festgelegt. Während bei gewöhnlichen Digitalrechnern Manipulationen mit mehrstelligen Wörtern vorgenommen werden, erfolgen hier in der Regel Einzelbitmanipulationen. Eine Ausnahme bilden nur die gegenwärtig noch unbedeutenden SPS, deren ZVE und/oder Programmsystem auf die Abarbeitung zustandsbezogener Steueralgorithmen zugeschnitten ist.

Unabhängig von der speziellen Realisierung und Anwendung gilt jedoch für alle ZVE die im Bild 4.3.3 dargestellte Blockstruktur. Aus dem Programmspeicher, der durch den Programmwortzähler adressiert wird, werden nacheinander die Steuerprogrammbefehle, die aus einem oder auch mehreren Programmwörtern bestehen, ausgelesen. Vom aktuellen Befehlswort werden der Operationsteil im Befehlsregister und der bei den meisten Befehlstypen noch zusätzliche Operandenteil in anderen Spezialregistern für die Dauer der Befehlsabarbeitung gepuffert. Größtenteils wird der Operandenteil durch eine Speicheradresse gebildet und dementsprechend im Adreßregister gepuffert. Der Befehlsdecoder erkennt aus dem Operationsteil die auszuführende Operation und generiert in Verbindung mit der Befehlssteuerung zeitgerecht Signale zur Steuerung des Operationsablaufs, so z. B. für das Lesen und Schreiben aus bzw. in Register, für die Steuerung von Verknüpfungen im Logikwerk oder auch für die Modifizierung des Programmlaufs durch Veränderung des Programmwortzähler-Zustands. Das Adreßregister adressiert direkt oder über einen Adressendecoder ZVE-interne Eingangs-/Ausgangsregister oder auch die peripheren Eingangs-/Ausgangsbaugruppen. Im Logikwerk, welches bei einer ZVE-Implementierung mittels MP dem Rechenwerk entspricht, erfolgt die logische Verarbeitung der binären Informationen. Dies sind meist elementare Grundoperationen der Schaltalgebra oder auch nur Zustandsabfragen zum Zweck der nachfolgenden Modifizierung des Programmlaufs.

4.3.2. ZVE-Implementierungen

Im Verlauf der Entwicklung speicherprogrammierbarer Steuereinrichtungen haben sich verschiedenartige Prinzipien für die Realisierung der internen Informationsverarbeitung herausgebildet. Dies hat einerseits seine Ursache im Entwicklungsstand der integrierten Schaltkreistechnik und andererseits in den unterschiedlichen Typen von Steueralgorithmen, welche für die Programmierung zugrunde gelegt werden. Letzteres ist der Grund dafür, daß die ZVE für verschiedenartigste Operationssysteme ausgelegt sind, was sich jeweils in ihrem Befehlssatz widerspiegelt. Bei der Implementierung der ZVE durch einen konventionellen MP drückt sich analog dazu diese Spezialisierung im Programmiersystem aus.

Die ZVE von SPS wird durch einen oder mehrere Prozessoren realisiert. Als Prozessor soll hier unabhängig von der Schaltkreisintegration ein programmgesteuerter Automat verstanden werden. In Abhängigkeit von der Breite der manipulierbaren Datenwörter werden unterschieden:

- Bitprozessor, ausschließlich für Einzelbitmanipulationen
- Wortprozessor, zur Manipulation von mehrstelligen Wörtern
- Wort-/Bitprozessor, Operanden sind sowohl Einzelbits als auch mehrstellige Wörter.

Dementsprechend lassen sich folgende Typen von ZVE unterscheiden:

- ZVE-Implementierung durch Bitprozessor
- ZVE-Implementierung durch Wortprozessor
- ZVE-Implementierung durch Wort- und Bitprozessor
- ZVE-Implementierung durch Wort-/Bitprozessor
- ZVE-Implementierung durch mehrere gleichartige oder unterschiedliche Prozessoren.

4.3.3. Peripheriemodule

Parallel zur Entwicklung der Mikrorechner hat sich bei den SPS ebenfalls die modulare Strukturierung auf der Grundlage eines Bussystems durchgesetzt. Der Systembus, bestehend aus Adreß-, Daten- und Steuerbus, bildet die einheitliche Schnittstelle zwischen den verschiedenartigen Modulen. Er ist meist als gedruckte Rückverdrahtung eines Baugruppenträgers ausgeführt. Die Module sind als Karteneinschübe (KES) ausgebildet und können meist wahlweise an beliebigen Plätzen des Baugruppenträgers gesteckt werden. Die ZVE und der Programm- und Datenspeicher bilden den „intelligenten" Kern der SPS. Sie werden zur Verwirklichung jeder Steuerungsaufgabe benötigt. Dabei können Art und Umfang des Speichers unterschiedlich sein. Der bei den meisten Anwendungsfällen weitaus umfangreichere Teil umfaßt die adressierbaren Peripheriemodule. Die Auswahl dieser Module und die verwendete Anzahl sind innerhalb der beschränkten Systemkapazität nur vom Steuerungsproblem abhängig. Sie lassen sich nach ihrer wesentlichen Funktion in vier Gruppen einteilen.

4.3.3.1. Eingabemodule

Durch die Eingabemodule werden die Eingangssignale für die Weiterverarbeitung in der ZVE aufbereitet und bereitgestellt. Ein Modul umfaßt in Abhängigkeit von der KES-Größe 4 bis 32 binäre Eingangssignale. Die Signalleitungen werden über die Rückverdrahtung oder über Anschlußklemmen oder Steckverbinder rückseitig oder an der Frontseite angeschlossen. Die Eingänge sind für einen bestimmten Pegel ausgelegt oder überdecken auch einen breiteren Bereich. Für Wechselspannungseingänge sind vorwiegend 115 V oder 220 V zugelassen. Die Vielfalt der Gleichspannungseingänge ist größer: 5 V, 12 V, 24 V, 48 V und 60 V mit unterschiedlicher Belastbarkeit sind gebräuchliche Werte.

Die Eingangssignale werden durch Filter entstört. In zunehmendem Maß erfolgt auch eine Potentialtrennung durch Optokoppler (früher bereits durch Relais und Ringkernübertrager). Es erfolgt eine Anpassung an den ZVE-internen Signalpegel, der meist 5 V beträgt. Teilweise enthalten die Module auch für jedes Signal ein Speicherflipflop, so daß sie nicht nur das „Tasten", sondern auch programmgesteuert durch die ZVE die Aufgabe des „Haltens" übernehmen. Sie sind meist über den Adreßbus von der ZVE adressierbar, d. h., sie besitzen einen Adreßdecoder zur Erkennung der ihnen zugeordneten Adresse (meist durch Lötbrücken oder DIL-Schalter vorgebbar). Die Adressierung bzw. das Auslesen durch die ZVE erfolgt meist wortweise. Bitweises Auslesen ist nur dann vorgesehen, wenn die ZVE keinen internen Abbildspeicher besitzt, zu dem für die Einzelbitverarbeitung bitweiser Zugriff besteht. Die Module enthalten überwiegend frontseitig angeordnete LED zur Zustandsanzeige und manchmal auch Bedienelemente zur Eingangssignalsimulation.

In Fällen, in denen die ZVE auch arithmetische Operationen ausführen kann und die SPS auch Aufgaben der direkten digitalen Regelung (DDC) übernehmen soll, werden Analogeingabemodule mit integriertem AD-Wandler bereitgestellt.

4.3.3.2. Ausgabemodule

Die Ausgabemodule realisieren die Pufferung der Ausgabesignale und deren Aufbereitung für die Ansteuerung von Stellgliedern und Signalgebern. Es erfolgt, meist verbunden mit Potentialtrennung durch Optokoppler, eine Signalumsetzung und -verstärkung vom ZVE-internen Pegel auf eine in bestimmtem Maß belastbare Gleich- oder Wechselausgangsspannung, oder es erfolgt eine Kontaktausgabe, in einigen Fällen auch verbunden mit Haftspeicherverhalten. Mit entsprechend leistungsstarken Ausgängen können Kupplungen, Ventile, Leistungsschütze usw. direkt angesteuert werden. Ein Modul bereitet in Abhängigkeit von der Größe der Karteneinschübe 2 bis 16 binäre Ausgangssignale auf. Teilweise sind die Ausgänge auch einzeln abgesichert. Sicherungsdefekte werden signalisiert.

Die Module besitzen in der Regel frontseitig angeordnete LED zur Zustandsanzeige und manchmal auch Bedienelemente zur festen Ausgangssignalaufschaltung. Betreffs Adressierung durch die ZVE und Anschluß der Signalleitungen sind sie zu den Eingabemodulen kompatibel. Da sie generell zum „Halten" der Ausgangssignale Speicherflipflops besitzen, sind sie auch meist durch die ZVE rücklesbar. Dort, wo das Rücklesen direkt vom Abgang der Ausgangssignalleitung erfolgt, ist auch eine programmierte Funktionsüberwachung des Ausgabemoduls möglich.

4.3.3.3. Funktionsmodule

Zu den Funktionsmodulen gehören solche zusätzlichen Baugruppen, die eine informationsverarbeitende Funktion ausführen, z. B. Zähl-, Zeit- und arithmetische Funktionen. Zeitmodule realisieren, vergleichbar mit den Zeitrelais bei elektromechanischen Steuereinrichtungen, die zeitliche Verzögerung von Signalen. Damit können direkt oder indirekt im Programmablauf z. B. Signale anzugs- oder abfallverzögert verarbeitet werden. Die Verzögerungszeit ist fest auf dem Modul oder variabel durch die Software programmierbar. Ebenso können Grenzwerte von Zählmodulen programmiert werden. Mit Zählmodulen werden von außen angelegte oder softwaremäßig erzeugte Impulsfolgen gezählt. Sie sind wahlweise als Vorwärts- oder Rückwärtszähler betreibbar. Die meist mehrfach vorhandenen Zeit- bzw. Zählglieder eines Zeit- bzw. Zählmoduls sind auch kaskadierbar. Entsprechend dem Stand der Schaltkreistechnik erfolgt ihre Realisierung mit Hilfe monolithischer Zähler- und Zeitgeberschaltkreise (CTC). Ein Arithmetikmodul wird wahlweise dort eingesetzt, wo über die Möglichkeiten der ZVE hinaus zusätzlich arithmetische Operationen auszuführen sind oder diese zur Entlastung der Programmlaufzeit besonders schnell sein müssen.

4.3.3.4. Anschlußsteuermodule

Anschlußsteuermodule realisieren ein passives oder auch aktives Interface (meist Standardinterfaces) zu anderen Geräten oder Einrichtungen, z. B. Dateneingabe- und -ausgabegeräte, zu anderen Steuereinrichtungen in einem Verbundsystem. Dafür werden vielfach die für die Mikrorechentechnik entwickelten PPI- und USART-Schaltkreise für byte- und bitserielle, synchrone oder asynchrone Datenübertragung eingesetzt. Ihre spezielle Funktionsanpassung erfolgt softwaremäßig.

4.3.4. SPS ursalog 5010

Eine speicherprogrammierbare Steuereinrichtung ursalog 5010 besteht aus der Verarbeitungseinheit VE 1 sowie ggf. Baugruppen und Stromversorgungseinheiten des Baugruppensystems ursalog 4000. Sie entsteht im Rahmen einer anwendungsspezifischen Einrichtungsprojektierung. Die VE 1, eine 40 mm breite Steckeinheit mit zwei Leiterkarten im doppelt hohen EGS-Format (215 mm × 170 mm), stellt für sich schon eine funktionsfähige SPS für Einfachsteuerungen dar. Sie wertet das Baugruppensystem ursalog 4000 (s. Abschn. 4.2.3.) im Sinne vereinfachter operativer Projektanpassung bei der Realisierung von Steuereinrichtungen mit hohem Verknüpfungsgrad sowie von Zähl- und Zeitfunktionen auf. Für umfangreichere Steuerungsprobleme lassen sich auch durch sinnvolle Dekomposition und Aufgabenverteilung mehrere SPS ursalog 5010 in Verbindung mit „verdrahteter Logik" einsetzen. Bild 4.3.4 zeigt als Beispiel den Konfigurator für eine komplexe Steuereinrichtung, bestehend aus zwei SPS ursalog 5010 und einer VPS ursalog 4000.

4.3.4.1. Verarbeitungseinheit VE 1

Die VE 1 ist durch folgende Merkmale gekennzeichnet:

- 32 störfeste binäre Eingänge
- 16 kurzschlußfeste binäre Ausgänge

— mikroprozessorgesteuerte Abarbeitung des Anwendersteuerprogramms
— EPROM-Programmspeicher (1 Kbyte für Betriebssystem und 2 Kbyte für Anwendersteuerprogramm)
— 1 Kbyte RAM als Operativspeicher (u. a. für E/A-Abbildung)
— Zeitgeber-/Zählerschaltkreis (CTC) für 10-ms-Zyklustakt und schnelle Zählfunktionen
— Fehlersignalisierschaltung
— Betriebsspannung $U_B = 24\ V \pm 25\%$.

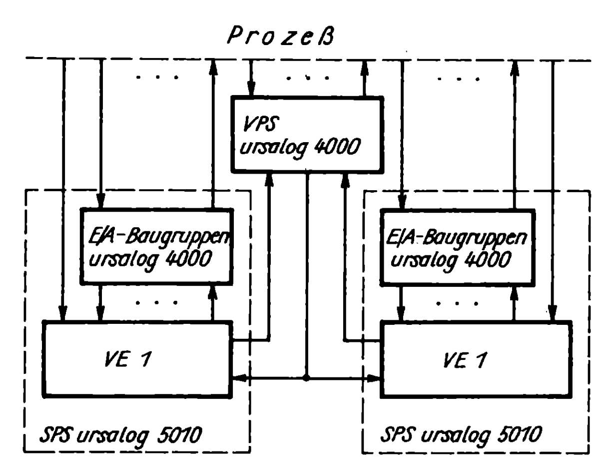


Bild 4.3.4. Beispiel für eine Einrichtungskonfiguration ursalog 4000/5010

Die VE 1 ist bezüglich Konstruktion, Betriebsspannung und der Eingangs- und Ausgangssignale kompatibel zu ursalog 4000. ursalog-4000-Baugruppen dienen der wahlfreien Anpassung an Prozeßsignale sowie auch einer vor- oder nachgelagerten logischen Informationsverarbeitung in Form verbindungsprogrammierter Logikschaltungen. Weitere technische Parameter:

— Schutzgrad IP 00
— Einsatzklasse 0/55/25/85/2101
— elektrische Bedingungen der Eingänge

Signalpegel:	$U_{eL} \leqq 5{,}5\ V$, $U_{eH} \geqq 9{,}3\ V$
Eingangslastfaktor:	$Fe = 1$ (≙ Eingangsstrom 0,1 ... 0,3 mA)
Zerstörgrenzen:	$U_e = -30\ V$ und $+50\ V$ bei statischem Betrieb $U_e = \pm 150\ V$ bei impulsförmigem Betrieb (mit $t_{max} = 6\ \mu s$ bei Wiederholungsfrequenz $f \leqq 300$ Hz)
Signalfilterung:	Die Eingänge der VE 1 enthalten Filterglieder; mittlere Filterzeit $t_v = 20\ \mu s$, für 5 festgelegte Eingänge $t_v = 5$ ms.

— elektrische Bedingungen der Ausgänge

Signalpegel:	$U_{aL} \leqq 1\ V$, $U_{aH} \geqq U_B - 3{,}8\ V$
Ausgangslastfaktor:	$Fa = 10$ (d. h., 10 ursalog-4000-Systemeingänge sind anschaltbar).

Bild 4.3.5 zeigt das Blockschaltbild der Verarbeitungseinheit VE 1. Die internen Steuerfunktionen sowie die Abarbeitung des Anwendersteuerprogramms werden durch den Mikroprozessor (U 880) sowie den Zähler/Zeitgeber (U 857) realisiert. Das Betriebssystem (1 Kbyte) und das Anwender-

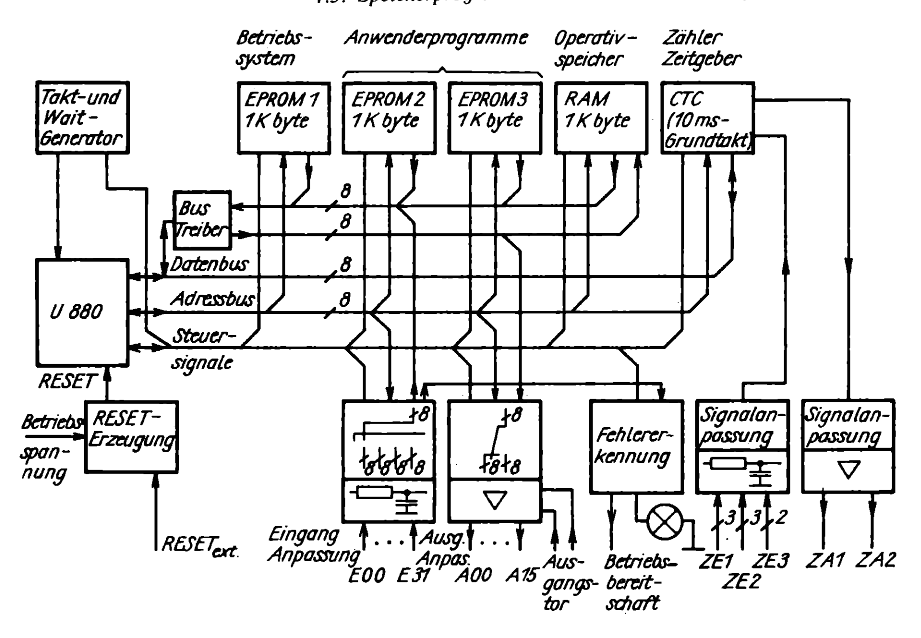


Bild 4.3.5. Blockschaltbild der Verarbeitungseinheit VE 1

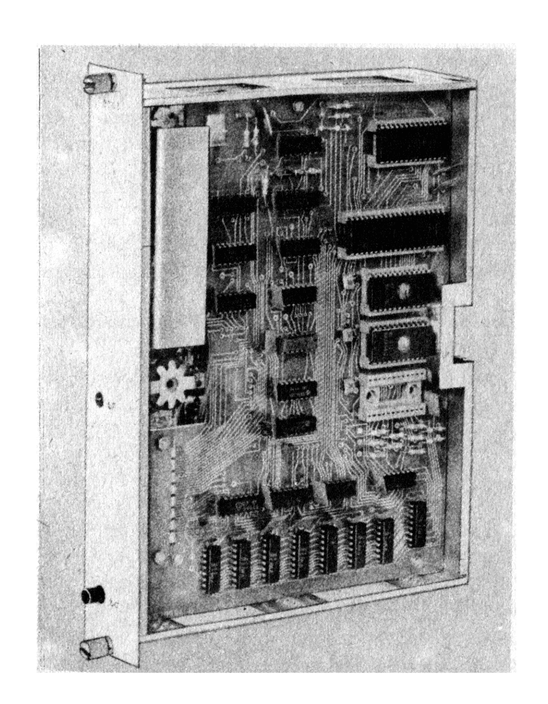


Bild 4.3.6
Verarbeitungseinheit VE 1
(Werkfoto)

steuerprogramm in Form eines Objektprogramms (2 Kbyte) sind in EPROMs (U 555) gespeichert. Für operative Daten, Merker des Anwendersteuerprogramms und die Abbildung der Eingangs- und Ausgangssignale stehen 1-Kbyte-RAM zur Verfügung.

Die binären Eingangssignale werden über Schaltungen zur Filterung und Pegelanpassung byteweise in den RAM übertragen. Die binären Ausgangssignale werden byteweise aus dem RAM in Flipflops zur Pufferung übertragen und stehen dort, im Pegel angepaßt, zur Ausgabe an.

Für die Erfassung schneller Impulsfolgen mit einer Folgefrequenz bis zu 5 kHz sowie zur Zeitmessung und die im Ergebnis dieser Meßvorgänge auszugebenden Reaktionen stehen zusätzliche Eingänge und Ausgänge zur Verfügung.

Mit Hilfe der Schaltung zur Erzeugung des RESET-Signals erfolgt die Einstellung des Startzustands bei Netzeinschaltung oder bei Betätigen einer Löschtaste oder durch ein externes Signal. Die Betriebsbereitschaft und ungestörte Funktion der VE 1 werden durch eine Laufanzeige optisch und ein binäres Signal elektrisch markiert.

Für eine effektive On-line-Programmtestung steht die Inbetriebnahmebaugruppe VE 1I zur Verfügung. Sie ist gefäß- und anschlußkompatibel zur VE 1. Die VE 1I enthält ein auf EPROM gespeichertes Testsystem und ein bitserielles Interface IFSS zur Kopplung mit dem Programmiergerät ursatron 5000. Das bis zu 2 Kbyte lange Anwendersteuerprogramm wird in zusätzlichen RAM gespeichert, um es dort während der Testphase problemlos ändern zu können. Bild 4.3.6 zeigt die Ansicht der VE 1.

4.3.4.2. Programmsystem der VE 1

Das Programmsystem der VE 1, PVE1, besteht aus dem festen Betriebssystem LOGOS 5010 (1 Kbyte) und dem Anwendersteuerprogramm LOGAN 5010 (bis max. 2 Kbyte). Das Betriebssystem beinhaltet im wesentlichen eine Systeminitialisierung, die Eingabe- und Ausgabeprozeduren, den zeitzyklischen Aufruf des Anwendersteuerprogramms und einen PROM/RAM-Autotest. Die normale Programmabarbeitung in der VE 1 wird durch das RESET-Signal ausgelöst. Das RESET-Signal wird bei Zuschaltung der 24-V-Betriebsspannung oder Auslösen eines externen Löschsignals generiert. Die Programmabarbeitung erfolgt nach folgendem Schema:

- Start des Betriebssystems, beginnend mit der Initialisierung (Herstellen eines definierten Anfangszustands, z. B. Laden des Zähler-Zeitgeber-Schaltkreises mit der Zeitkonstanten für den 10-ms-Grundtakt) und anschließender Eingangssignalerfassung; die 32 Eingänge werden byteweise abgefragt und ihr Zustand im Operativspeicher abgebildet. Es folgt der Start des Anwendersteuerprogramms.
- Abarbeitung des Anwendersteuerprogramms. Es setzt sich zusammen aus Bitmanipulationen, z. B. logischen Verknüpfungen, die direkt abgearbeitet werden, und z. B. Zähl- und Zeitfunktionen, die als Unterprogramme zur Abarbeitung kommen. Es folgt der Rücksprung ins Betriebssystem.
- Fortsetzung des Betriebssystems. Es werden die 16 Ausgänge entsprechend der durch das Anwendersteuerprogramm im Operativspeicher erzeugten Abbildung aktualisiert.
  Daran schließt sich solange ein PROM/RAM-Autotest an, bis die 10-ms-Zykluszeit abgelaufen ist.
- Start eines neuen Zyklus, beginnend mit der Eingangssignalerfassung im Betriebssystem.

4.3.4.3. Programmierung der VE 1

Das Anwenderquellprogramm wird, ausgehend von der formalisierten Beschreibung des Steuerungsproblems (Steueralgorithmus), in der Fachsprache PROLOG 1 notiert. PROLOG 1, aufwärtskompatibel zur Fachsprache PROLOG 2 für die SPS ursalog 5020, ist im wesentlichen bausteinorientiert zur unmittelbaren Beschreibung folgender Funktionen:

UND, ODER sowie EXKLUSIVES ODER
Zeitfunktionen (Zeitglieder für 5 Zeitbereiche: 1 s, 10 s, 100 s, 10 min, 100 min)

Zählfunktionen (Vorwärtszähler, Zählbereich 1 ... 99)
Bit- und Bytetransporte
Vergleichen (gleich, größer)
Programmsprung (unbedingt, bedingt)

Das Anwendersteuerprogramm LOGAN 5010 wird mit Hilfe des Programmiergeräts PG ursatron 5000 aus dem Anwenderquellprogramm übersetzt. Es kann in EPROMs fixiert oder auf andere externe Datenträger ausgelagert werden.

Für die Inbetriebsetzung der SPS ursalog 5010 wird die VE 1 durch die Inbetriebnahmebaugruppe, die VE 1I, ersetzt. Aus dem RAM des angekoppelten Programmiergeräts wird das Anwendersteuerprogramm in den RAM der VE 1 I transferiert und dort mit Hilfe der in beiden Geräten enthaltenen Testprogramme im Dialogbetrieb getestet.

Nach Abschluß der Inbetriebsetzung wird das ausgetestete Anwendersteuerprogramm zurücktransferiert und vom PG in EPROMs fixiert, mit denen die VE 1 bestückt wird. Für den laufenden Betrieb wird die VE 1 I durch die VE 1 ersetzt.

4.3.5. SPS ursalog 5020

Die speicherprogrammierbare Steuereinrichtung SPS ursalog 5020 vom VEB Elektro-Apparate-Werke Berlin-Treptow „Friedrich Ebert" ergänzt das Gerätesystem ursalog 5000 im Systemzweig ursatron des ursamat durch eine Komplexsteuereinrichtung für mittelgroße bis große Steuerungsprobleme [4.22].

Die SPS ursalog 5020 hat ein modulares Mikrorechnersystem zur Grundlage, das durch Baugruppen zur Prozeßsignaleingabe und -ausgabe sowie durch eine spezifische System-Software die für eine SPS des oberen Anwendungsbereichs notwendigen Eigenschaften besitzt:

- anwendernahe Programmierung in der steuerungsorientierten Fachsprache PROLOG 2
- mindestens 2048 binäre Variablen (Eingänge, Merker, Ausgänge) können logisch verarbeitet werden
- jeweils bis zu 100 Zeit- und Zählglieder verschiedener Typen (softwaremäßig realisiert) können programmiert werden
- mehrere Anwendersteuerprogramme (bis zu 36 Kbyte) können in der Regie eines Echtzeitsteuerprogrammsystems zyklisch oder nicht zyklisch mit wahlweiser Priorität abgearbeitet werden.

Eine SPS ursalog 5020 besteht aus der Grundeinheit ursalog 5020, Stromversorgungsgeräten und ggf. weiteren Geräten zur Eingangs- und Ausgangssignalanpassung. Darüber hinaus werden Baugruppen und Geräte zur Programmierung, Inbetriebsetzung, Bedienung und für den Service bereitgestellt.

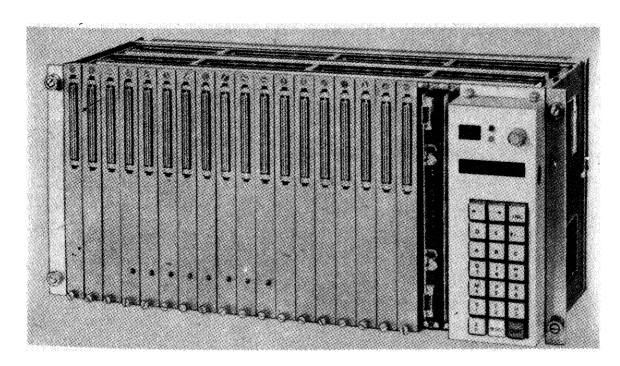


Bild 4.3.7. Grundeinheit ursalog 5020 (Werkfoto)

4.3.5.1. Grundeinheit ursalog 5020

Die Grundeinheit einer SPS ursalog 5020 besteht aus einem EGS-Baugruppeneinsatz mit gedruckter Rückverdrahtung und direkt gesteckten Karteneinschüben (KES) $B \times H \times T = 20$ mm $\times 215$ mm $\times 170$ mm (Bild 4.3.7). Der Anschluß der Prozeßsignale und Steuersignale sowie externer Interfaceleitungen erfolgt über indirekte Frontsteckverbinder. Bild 4.3.8 zeigt das Blockschaltbild

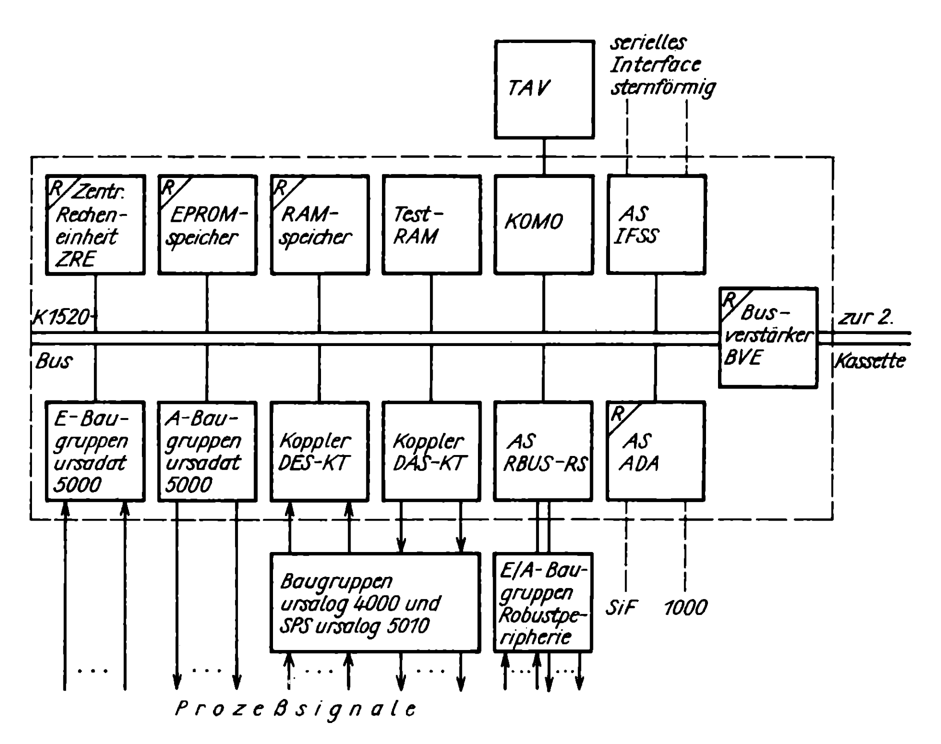


Bild 4.3.8. Blockschaltbild einer Grundeinheit ursalog 5020

für eine mögliche Konfiguration einer Grundeinheit. Jede Grundeinheit umfaßt KES zur zentralen Informationsverarbeitung, zur Signalerfassung und -ausgabe sowie einen Kontrollmodul mit Tastatur- und Anzeigevorsatz (TAV). Es werden einige KES aus dem Mikrorechnersystem K 1520 vom Kombinat Robotron verwendet. Alle KES arbeiten am K-1520-Systembus nach TGL 37271 (mit systemeigenen Erweiterungen).

Reicht ein Baugruppeneinsatz zur Unterbringung der KES nicht aus, so kann die Grundeinheit durch einen zweiten ergänzt werden. Der Systembus wird über die Busverstärkereinheit BVE in den zweiten Baugruppeneinsatz verlängert. Dort dürfen jedoch nur Baugruppen zur Signalerfassung und -ausgabe arbeiten.

4.3.5.1.1. Zentrale Verarbeitungseinheit

In Tafel 4.3.1 sind u. a. die einsetzbaren KES für die zentrale Verarbeitung in der Grundeinheit zusammengestellt.

Tafel 4.3.1. ZVE- und Interface-Baugruppen für die Grundeinheit ursalog 5020

Typ	Kurzcharakteristik
ZRE K 2521.05	zentrale Recheneinheit mit CPU, Taktgeber, PIO, CTC, 3 Kbyte EPROM und 1 Kbyte stat. NMOS-RAM
OPS K 3520.05	4 Kbyte stat. NMOS-RAM
OPS K 3521.05	4 Kbyte stat. CMOS-RAM, batteriegestützt
OFS K 3620.05	6 Kbyte EPROM und 2 Kbyte stat. NMOS-RAM
OFS K 3621.05	6 Kbyte EPROM und 2 Kbyte stat. CMOS-RAM, batteriegestützt
PFS K 3820.05	16 Kbyte EPROM
KOMO 3705	Kontrollmodul mit Anschluß für TAV, EPROM-Programmiermodul und -Parametriermodul sowie Heim-Kassettenmagnetbandgerät über TAV
IFSS 3703	2 × langsames serielles Interface (IFSS) für Punkt-zu-Punkt-Verkehr, max. 9600 Baud
TRAM 3702	16, 32, 48 oder 64 Kbyte dyn. RAM (Bestückungsvarianten), programmierbare Adreßzuordnung für jeweils 4-Kbyte-Speicherblöcke
KAB 3708	Kaskadenbrücke zum Auffüllen freier Plätze zwischen 2 KES in der Grundeinheit
R-BUS-S 3725	Robust-Bus-Steuerung, Anschluß von Robustperipherie-Baugruppen für bis zu 1024 Eingabe-/Ausgabesignale über Robust-Bus, Selbstdiagnose
TAV 3726	Tastatur-Anzeige-Vorsatz zum Kontrollmodul, 8stellige 7-Segment-Anzeige, Hexadezimal- und Funktionstastatur, Betriebsartenschalter
IIM 3760	2 Kanäle Impulseingabe für inkrementelle Meßsysteme, Meßwertaufbereitung
BVE K 4120.05	Busverstärkereinheit für Erweiterung durch zweiten Baugruppeneinsatz
ADA K 6022.05	SIF-1000-Anschluß, 1 Eingangs- und 1 Ausgangskanal
ABD K 7022	Anschluß Bedieneinheit Robotron
SE-AS 2351	Serviceeinheit-Anschlußsteuerung (SE ursatron 5000)

Die *Zentrale Recheneinheit ZRE* mit ihrem leistungsfähigen Einchip-Mikroprozessor stellt den Kern der zentralen Verarbeitung dar und ist in jeder Konfiguration enthalten, wie auch je ein KES PFS, OPS und KOMO. Prinzipiell können neben den genannten KES des K 1520 auch noch weitere mit direktem Steckverbinder eingesetzt werden, z. B. KES für den Anschluß peripherer Geräte.

Der *programmierbare Festwertspeicher PFS*, Träger von Betriebssystemkomponenten und der Anwendersteuerprogramme (AP), kann bei Bedarf noch um zwei KES PFS aufgestockt werden.

Vom KES *OPS* werden 1 Kbyte (EMA-RAM) als Abbild- bzw.Zwischenspeicher für Merker, Eingangs- und Ausgangsvariablen sowie für Zeit- und Zählwerte von programmierten Zeit- und Zählbausteinen verwendet. Über die restlichen 3 Kbyte verfügt das Betriebssystem. Wird bei Ausfall der Netzspannung der Erhalt der Daten verlangt, ist die batteriegestützte CMOS-RAM-Karte einzusetzen.

Der *Kontrollmodul* ist ein autonomer Mikrorechner, an dessen Frontseite der TAV zur Bedienerkommunikation steckbar ist. Er führt Überwachungsfunktionen aus, generiert Meldungen und organisiert die Tastatureingabe und LED-Anzeige mittels *TAV*. An den Kontrollmodul sind auch ein EPROM-Programmiermodul, ein EPROM-Parametriermodul sowie ein Heim-Kassettenmagnetbandgerät (nur über TAV) zur Ein- und Ausgabe von Daten anschließbar. Am TAV erfolgt mittels Stufenschalters die Festlegung der Betriebsart:

— LAUF unbeeinflußte Abarbeitung der AP
— TEST Test der AP mit Hilfe des Programmiergeräts ursatron 5000

– HAND Abarbeitung der AP unterbrochen; Ausführung von Testoperationen mittels TAV
– RETT Setzen der Signalausgänge in einen anwendungsabhängigen gefahrlosen Zustand durch Abarbeitung einer Rettungsroutine (Anwenderprogramm).

Mit Hilfe des TAV, der auch über ein 2 m langes Kabel absetzbar ist, kann eine Kommunikation zwischen Bediener und SPS erfolgen. Dies betrifft Lesen und Schreiben beliebiger Register, Speicher und Ports, Lesen, Schreiben und auch Festschreiben von Systemvariablen und etliche organisatorische Funktionen, insbesondere für den Test der Anwenderprogramme und die Inbetriebsetzung der SPS.

4.3.5.1.2. Eingabe-/Ausgabebaugruppen

Für die Erfassung der Prozeßsignale (E-Signale) und die Ausgabe der Steuersignale (A-Signale) bestehen drei gerätetechnische Lösungen, über die der Anwender frei verfügen kann.

Erstens besteht die Möglichkeit des Einsatzes universeller E/A-Baugruppen aus dem Gerätesystem ursadat 5000 [4.23]. Sie arbeiten direkt am Systembus im Grundeinheit-Baugruppeneinsatz. Tafel 4.3.2 enthält eine Auswahl dieser Baugruppen. Für nicht steuerungstypische Anwendungen stehen noch diverse Baugruppen zur Eingabe und Ausgabe von Analogsignalen zur Verfügung.

Tafel 4.3.2. E/A-Baugruppen für Direktanschluß am Systembus (Auswahl)

Typ, Datenbreite	Kurzcharakteristik
AMUX 3761	Anzeigemultiplexer für 16stellige 7-Segment-Anzeige (VQE 24, z. B. 2 × AN-NM-1 oder 1 × AN-NM-2) und 8 × 8 LED-Matrix (64 × VQA 13 oder 23 oder 33)
DES 2340 16 bit	Digitaleingabe statisch: Varianten 5, 12, 24 und 60 V mit galvanischer Trennung; TTL-Variante ohne galvanische Trennung; Erfassung digitaler Prozeßsignale von Kontakt- und kontaktlosen Gebern
DEM 2341 128 bit	digitale Multiplexeingabe: Erfassung in Matrix 16 × 8 (16-bit-Digitalausgabe und 8-bit-Digitaleingabe, jeweils über Optokoppler) Varianten für 12, 24 und 60 V; Abfrage statischer Signalzustände von passiven Gebern
DES-KT 2344 32 bit	Digitaleingabe statisch von kurzschlußfestem Treiberschaltkreis: Erfassung digitaler Signale mit KTSE-Pegel (z. B. SK D 410); geeignet für Kopplung mit Baugruppen ursalog 4000 oder mit SPS ursalog 5010
DEAS 2337 24 bit	Digitaleingabe/-ausgabe statisch: wahlweise in Gruppen zu je 4 bit als Eingabe oder Ausgabe programmierbar; schnelle Eingabe/Ausgabe über max. Kabellänge von 25 m
DAS-KT 2334 32 bit	Digitalausgabe statisch mit kurzschlußfestem Treiberschaltkreis: Ausgabe digitaler Signale über kurzschlußfesten Treiber-SK; geeignet für Kopplung mit Baugruppen ursalog 4000 oder mit SPS ursalog 5010
DA-T 2336 32 bit	Digitalausgabe statisch oder dynamisch über Transistor: Ausgabe digitaler Signale über Schalttransistor max. 60 V GS; 0,12 A; 7,2 W
DA-O 2335 16 bit	Digitalausgabe statisch oder dynamisch über Optokoppler: Ausgabe digitaler Signale über Optokoppler (galvanische Trennung); Transistorausgang max. 60 V GS; 0,1 A; 3 W
DA-R 2331 24 bit	Digitalausgabe statisch oder dynamisch über Relais: Ausgabe digitaler Signale über Relais RGK 20/1 (galvanische Trennung) max. 60 V GS/WS; 0,5 A; 10 W
DAS-H 2330 8 bit	Digitalausgabe statisch über Haftrelais: Ausgabe digitaler Signale mit geringer Schaltgeschwindigkeit über Haftrelais (galvanische Trennung), max. Schaltleistung 6 W

Tafel 4.3.3. E/A-Baugruppen der Robustperipherie ursalog 5020

Typ, Datenbreite	Kurzcharakteristik
R-BUS-A 3721	Robust-Bus-Anschluß, führt den Robust-Bus vom Frontstecker auf die Rückverdrahtung
R-BUS-TR 3720	Robust-Bus-Treiber, wie R-BUS-A, jedoch mit Leitungstreiber und -empfänger für Fernbereich
R-DES-KT 3730 32 bit	Digitaleingabe statisch im KTSE-Pegel (z. B. SK D 410) mit Statusanzeige
R-DES-K 3731 32 bit	Kontakteingabe statisch; Kontaktbelastung etwa 10 mA bei 24 V ± 25%; Statusanzeige
R-DES-I 3732 24 bit	Digitaleingabe statisch für Signale von Initiatoren des VEB MGB mit Statusanzeige
R-DAS-3A 3741 7 bit	Digitalausgabe statisch über kurzschlußfesten Schaltverstärker für 24 V ± 25%; 3 A mit Statusanzeige
R-DAS-TC 3742 4 bit	Digitalausgabe statisch über Triac für 220 V WS +10%, −15%; 3 A mit Status- und Sicherungsanzeige
R-DAS-RI 3743 8 bit	Digitalausgabe statisch über Relais GBR 10 (Wechsler) für max. 30 V; 3 A mit Statusanzeige
R-DAS-RU 3744 8 bit	Digitalausgabe statisch über Relais GBR 10 (Wechsler) für max. 220 V WS; 150 VA; cos φ = 1 (100 VA; cos φ = 0,4) mit Statusanzeige
R-DAS-0,25A 3745 15 bit	Digitalausgabe statisch über kurzschlußfesten Schaltverstärker für 24 V ± 25%; 0,25 A mit Statusanzeige

Für die problemlose Ansteuerung der ursadat-Ziffernanzeigemodule AM-NM-1 und AM-NM-2 sowie weiterer 64 LED (anwendereigene Statusanzeigen) dient der *ursalog-Anzeigemultiplexer AMUX*.

Zweitens besteht die Möglichkeit, die Eingabe- und Ausgabesignalanpassung mit Hilfe des Baugruppensystems ursalog 4000 zu realisieren. Diese Baugruppen, mit denen auch eine logische Vor- bzw. Nachverarbeitung im Sinne einer festverdrahteten Steuereinrichtung durchgeführt werden kann, können bis zu 300 m abgesetzt werden und besitzen eine hohe Stör- und Zerstörsicherheit (s. Abschn. 4.2.3.). Der eigentliche Anschluß an die Grundeinheit ursalog 5020 erfolgt über die in Tafel 4.3.2 enthaltenen Baugruppen DES-KT und DAS-KT. Über sie kann auch die „kleine" SPS ursalog 5010 angeschlossen werden, die mit ursalog 4000 signalkompatibel ist.

Drittens besteht die Möglichkeit des Einsatzes von E/A-Baugruppen der Robustperipherie ursalog 5020 [4.24]. Diese Baugruppen sind in hohem Maß stör- und zerstörsicher und besitzen prozeßseitig die Signaleigenschaften des Baugruppensystems ursalog 4000. Sie arbeiten am eigenen störsicheren Interface (Robust-Bus) und können bis zu 200 m von der Grundeinheit abgesetzt werden. Der Anschluß von Robustperipherie-Baugruppen (s. Tafel 4.3.3) für bis zu 1024 Eingabe-/Ausgabesignale an die Grundeinheit erfolgt über die Anschlußsteuerung *R-BUS-S* (s. Tafel 4.3.1). Sie enthält einen Mikroprozessor, der zyklisch den Datenaustausch zwischen einem eigenen Abbildspeicher und den E/A-Baugruppen organisiert. Darüber hinaus realisiert er noch umfangreiche Diagnosefunktionen.

4.3.5.1.3. Anschlußsteuer- und Zusatzbaugruppen

Die nachfolgend genannten und in Tafel 4.3.1 enthaltenen Kartenbaugruppen sind wahlweise in der Grundeinheit einsetzbar.

Die *Anschlußsteuerbaugruppe IFSS* ermöglicht den Anschluß von bis zu zwei Geräten mit dem

„Interface sternförmig seriell" (IFSS). Jedes Gerät kann über eine 4-Draht-Leitung bis zu 500 m von der Grundeinheit abgesetzt werden. Der KES wird vor allem für den Anschluß des Programmiergeräts ursatron 5000 in der Inbetriebsetzungsphase und des Bediengeräts ursatron 5000 benötigt.

Der KES *TRAM* (Test-RAM), wahlweise mit 16, 32, 48 oder 64 Kbyte dynamischem RAM bestückt, ist insbesondere für die Inbetriebsetzungsphase als Ersatz für den EPROM-Programmspeicher geeignet. Für jeweils 4-Kbyte-Speicherblöcke kann die Adreßzuordnung durch Befehl festgelegt werden. Befindet sich auf dem gewählten Bereich bereits ein statischer Speicher, so wird dieser außer Betrieb gesetzt, ohne daß der entsprechende KES gezogen werden muß. Somit ist es möglich, ein Anwendersteuerprogramm, das auch schon auf EPROMs enthalten sein kann, während des Programmtests operativ zu verändern, bevor es endgültig auf EPROMs fixiert wird.

Der KES *IIM* dient dem Anschluß inkrementeller Meßsysteme und enthält wie der Kontrollmodul und die Robust-Bus-Steuerbaugruppe einen eigenen Mikroprozessor. Der MP organisiert die Meßsystemeichung, die Impulserfassung und -verarbeitung. Dem Anwendersteuerprogramm werden Absolutwerte bereitgestellt, die entsprechend Vorgabe bereits normiert sind.

Über die Anschlußsteuerbaugruppe *ADA* aus dem MRS K 1520 können Geräte mit dem Anschlußbild SIF 1000 angeschlossen werden, z. B. Lochbandleser daro 1210 und Lochbandstanzer daro 1215. Es stehen ein Eingangs- und ein Ausgangskanal zur Verfügung. Die Einbindung der Treiberprogramme ins Programmsystem muß der Anwender vornehmen.

Der KES *ABD* aus dem MRS K 1520 ermöglicht den Anschluß der Robotron-Bedieneinheit. Dies ist für den Service notwendig, sofern keine Serviceeinheit ursatron 5000 zur Verfügung steht.

4.3.5.2. Stromversorgung

Die Stromversorgung für eine SPS ursalog 5020 wird konfigurationsabhängig aus Modulen des DEKK und Stromversorgungsbaugruppen ursatron 5000 zusammengesetzt. Die ursatron-Baugruppen realisieren u. a. die gestaffelte Einschalt- und Ausschaltfolge der Module sowie die Spannungsüberwachung. Die Module und Baugruppen mit der Einbauhöhe 135 mm werden in separaten EGS-Baugruppeneinsätzen untergebracht. Die Speisung erfolgt über ein Netzeingangsfilter durch 220 V WS.

4.3.5.3. Programmsystem der SPS ursalog 5020

Um den Anforderungen mittelgroßer bis großer Steuerungsprobleme und auch der Steuerung von Industrierobotern gerecht zu werden, ist die SPS ursalog 5020 serienmäßig mit einem Echtzeitsteuerprogrammsystem für Mehrprogrammbetrieb (Multitask-Echtzeitbetriebssystem) ausgestattet. Das Programmsystem PVE2 enthält alle Programme, die in einer SPS ursalog 5020 laufen sollen. Das sind die anwendungsunabhängigen Echtzeitbetriebsprogramme EIEX 1521 und LOGOS 5020 einschließlich spezieller Dienstprogramme, das Testsystem LOTES 5020 sowie die Anwendersteuerprogramme LOGAN 5020.

EIEX 1521 ist eine speziell generierte Version des internspeicherorientierten Echtzeitsteuerprogrammsystems EIEX K 1521 und fungiert als Rahmensteuerprogrammsystem mit den wesentlichen Funktionskomponenten

- Anlauforganisation
- Interruptorganisation
- Vorrangorganisation
- Zeitorganisation
- Ruforganisation
- Eingabe-/Ausgabeorganisation der Prozeßperipherie.

Die Programme LOGAN 5020, LOTES 5020 sowie einige Programme von LOGOS 5020 laufen unter der Regie von EIEX 1521 im Sinne von Anwendertasks. Eine Task ist ein lauffähiges Objektprogramm mit eigenem Stackbereich und definiertem Einsprungspunkt. Die Tasks sind gegeneinander priorisiert und können zyklisch oder durch Interrupt oder von anderen Tasks gestartet werden. Die Priorität einer Task, ausgedrückt durch eine Zahl < 128, ist gleichzeitig ihr Identifikator. Die höchste Priorität besitzt die Task 1.

LOGAN 5020 ist der Sammelbegriff für die in der SPS laufenden Anwendersteuerprogramme (AP), die gewöhnlich vom Anwender in der Fachsprache PROLOG 2 notiert und mit dem Programmiergerät ursatron 5000 übersetzt werden. Der Anwender kann mit der Standardversion des PVE2 bis zu 6 Programme (Tasks) mit unterschiedlicher Priorität und ggf. Zykluszeit ins Programmsystem aufnehmen. Die Zuordnung von Priorität und Zykluszeit erfolgt in der Programmnotation und muß unter Berücksichtigung der bereits im System enthaltenen Tasks vorgenommen werden. Darüber hinaus können wahlweise je ein Programm zur anwendungsspezifischen Netzausfallrettung, Fehlerbehandlung, Initialisierung und zum Übergang in einen sicheren Prozeßzustand (ausgelöst durch BAS = „RETT") ins PVE2 aufgenommen werden.

Die Programme des Testsystems LOTES 5020 realisieren Bedien-, Test- und Inbetriebsetzungsfunktionen, die mittels TAV des Kontrollmoduls oder vom angeschlossenen Programmiergerät ausgelöst werden.

Der Anwender hat die Möglichkeit, beim Hersteller der SPS aus einer Menge von Standardversionen des PVE2 die für ihn optimale Version auszuwählen. Er kann sich aber auch eine auf seinen Anwendungsfall speziell zugeschnittene Version generieren lassen. Einige der wesentlichen Angaben für die Generierung, die auch entscheidend den Umfang der Betriebssystemkomponenten bestimmen, sind

- Benutzung der zweiten langsamen seriellen Schnittstelle
- Anzahl der aufzunehmenden Anwendersteuerprogramme
- Typen und Anzahl von Geräten der Prozeßperipherie
- Typen von Sprachmodulen entsprechend dem verwendeten Sprachumfang von PROLOG 2
- Typen von Modulen des Testsystems LOTES 5020.

4.3.5.4. **Fachsprache PROLOG 2 zur Notation der Anwenderprogramme** [4.25]

Zur problemnahen Notation der Steuerprogramme wurde die Fachsprache PROLOG 2 entwickelt. Sie ist aufwärtskompatibel zur Fachsprache PN 5000 für das Automatisierungssystem „audatec" [4.26]. Bei der Konzipierung wurde von den Notwendigkeiten der Anwendung für die SPS ursalog 5020 ausgegangen. Trotzdem weisen die in PROLOG 2 notierten Anwendersteuerprogramme (Quellprogramme) kaum maschinenspezifische Besonderheiten auf. Sie können in Verbindung mit einem maschinenspezifischen Compiler als Quellprogramme für beliebige SPS dienen, vorausgesetzt, die SPS enthält ein hierfür vorbereitetes Echtzeitbetriebssystem und die notwendigen Software-Module. PROLOG 1, eine Untermenge von PROLOG 2, ist die Fachsprache zur Notation von Anwendersteuerprogrammen für eine SPS ursalog 5010 [4.27].

In PROLOG 2 wird das Steuerprogramm, ausgehend von einer strukturbezogenen Darstellung des Steueralgorithmus, als eine Folge von Vereinbarungen, Funktions- und Bausteinanweisungen notiert. Als strukturbezogene Darstellung (Algorithmusdarstellung mit den Strukturvariablen) eignen sich Strukturgleichungssystem bzw. Schaltgleichungen, Signalflußbild, Programmablaufplan bzw. -graph. Bei Beachtung von Umformungsregeln kann auch von einem Stromlaufplan für eine Kontaktschaltung ausgegangen werden. Die Menge von Anweisungen ist auch hinreichend, um Petri-Netze in SPS-Steuerprogramme umzusetzen. Für anspruchsvolle Probleme besteht auch die Möglichkeit, mittels sogenannter Betriebssystemaufrufe den zeitlichen und priorisierten Lauf von Anwenderprogrammen zu modifizieren.

4.3.5.4.1. Programmstruktur

Ein in PROLOG 2 notiertes Programm besteht aus Vereinbarungen und Anweisungsfolgen. In den Vereinbarungen werden die Art der Prozeßsignaleingabe und -ausgabe und Initialwerte für Variablen festgelegt.

Eine Anweisungsfolge ist die äquivalente Abbildung eines Steueralgorithmus (oder eines Teiles davon), bestehend aus einer Folge von Anweisungen für die Ausführung von informationsverarbeitenden und programmorganisatorischen Funktionen. Die informationsverarbeitenden Funktionen werden in der SPS durch die Abarbeitung von parametrierbaren Befehlsfolgen (Unterprogramme im Betriebssystem oder direkt Befehlssequenzen im Anwendermaschinenprogramm) realisiert. Diese Befehlsfolgen werden unabhängig von der Art ihrer Ausführung Programmodule genannt. Dementsprechend stellen die im Quellprogramm zu notierenden Anweisungen Modulaufrufe dar. Der größte Teil der programmorganisatorischen Funktionen wird in Komponenten des SPS-Betriebssystems (EIEX 1521) realisiert. Die Anweisungen für diese Funktionen werden Betriebssystemaufrufe genannt.

Alle Anweisungen bestehen aus einem Operationsteil und einem Operandenteil. Der Operationsteil kennzeichnet die auszuführende Operation. Der Operandenteil enthält die für die Ausführung der Operation notwendigen Parameter. Einer Anweisung kann optional eine Marke in Form einer dreistelligen Dezimalzahl vorangestellt werden. Diese Marke dient für Sprungoperationen als Kennzeichen (Parameter im Modulaufruf) der Ansprungstelle.

Zur verständlichen Programmdokumentation sind in allen Programmzeilen Kommentare zugelassen.

Eine oder auch mehrere Anweisungsfolgen können als Unterprogramme deklariert werden. Unterprogramme können von beliebiger Stelle des Programms oder auch anderer Programme zur Abarbeitung aufgerufen werden.

In eine SPS ursalog 5020 können mehrere Programme der beschriebenen Struktur nach ihrer Übersetzung eingebunden und zur Abarbeitung gebracht werden. Der Gesamtmenge von Programmen in ihrer Quellnotation können auch noch Vereinbarungen der eingangs genannten Typen vorangestellt werden. Alle Vereinbarungen — die allen Programmen vorangestellten und die am

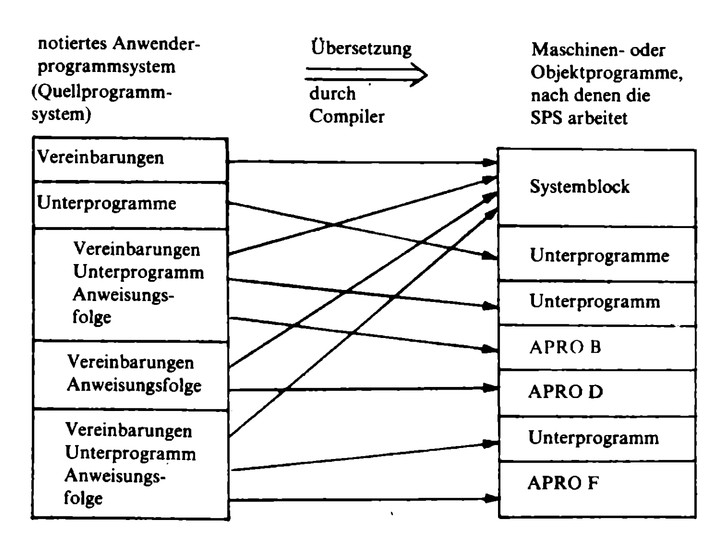


Bild 4.3.9. Anwenderprogrammsystem. Zusammenhang zwischen Quell- und Objektprogrammsystem

Anfang eines Programms notierten — sind gleichrangig und gelten für alle Programme; sie haben globalen Charakter. Bei der Übersetzung der Programme (einschließlich der vorangestellten Vereinbarungen) auf dem Programmiergerät ursatron 5000 wird ein gemeinsamer Systemblock gebildet. Der Systemblock ist ein formatierter Datenbereich, der die globalen Größen (z. B. Adreßvereinbarungen für die Variablenfelder) und Steuerinformationen (z. B. Programm- und Unterprogrammverzeichnis, Prozeßperipherie-Tabelle) enthält. Er wird der SPS mit den Objektprogrammen als Bestandteil des Anwenderprogrammsystems LOGAN 5020 übergeben. Im Systemanlauf der SPS beziehen die Programme zur Systeminitialisierung (Komponenten von LOGOS 5020) wesentliche Informationen über die einzubindenden Anwenderprogramme aus dem Systemblock.

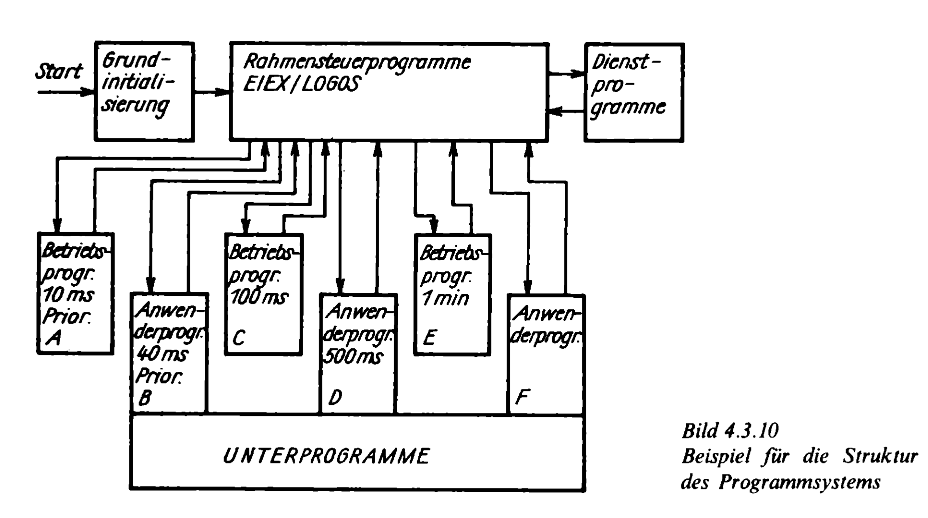


Bild 4.3.10
Beispiel für die Struktur des Programmsystems

Im Bild 4.3.9 ist die Struktur eines möglichen Anwenderprogrammsystems als Beispiel dargestellt. Es verdeutlicht auch den Zusammenhang zwischen der Quellnotation und der Maschinendarstellung. Mit diesem AP-System ist im Bild 4.3.10 in vereinfachter Weise die Struktur eines SPS-Programmsystems dargestellt. Die Prioritäten sind nur symbolisch durch Buchstaben markiert; die Tasks des Betriebssystems werden nur durch drei Tasks repräsentiert. In dem Block „Dienstprogramme" sollen auch alle Sprachmodule und Bedienprogramme für Geräte der Prozeßperipherie enthalten sein.

4.3.5.4.2. Konstanten und Bezeichner für Variablen

Konstanten werden zur Parametrierung von Vereinbarungen und Anweisungen verwendet. Sie können in unterschiedlicher Darstellung vorgegeben werden:

- Dualkonstanten
  z. B. ØB, 1B, 1Ø11Ø1B, 1ØØØ11Ø11B
- Oktalkonstanten
  z. B. 55Q, 433Q
- Dezimalkonstanten
  z. B. 45, 3Ø7, —42, —215ØØ
- Hexadezimalkonstanten
  z. B. 2DH, 11BH, ØA22FH

Negative Dezimalkonstanten werden nur in Arithmetikmodulen verwendet.

Bezeichner für Variablen dienen der Adressierung von Bit-, Byte- und Doppelbytevariablen eines Anwendersteuerprogrammsystems. Variablen werden als Operanden in den Vereinbarungen und Anweisungen verwendet und sind globale Größen, d. h., sie bezeichnen in verschiedenen Programmen jeweils ein und dasselbe Datenwort. Folgende Variablenbezeichner sind verfügbar:

— Bitvariablen {Ø, 1}

Ei	Eingangsvariable; mittels Prozeßperipherie erfaßtes Binärsignal
Aj	Ausgangsvariable; mittels Prozeßperipherie auszugebendes Binärsignal
Mk	Merker (Bit); intern erzeugtes Zwischensignal
ETl	Eingang für Zeitmodul *l*
ATl	Ausgang von Zeitmodul *l*
RTl	Rücksetzeingang für Zeitmodul *l*
EZm	Eingang für Zählmodul *m*
AZm	Ausgang von Zählmodul *m*
RZm	Rücksetzeingang für Zählmodul *m*
UZm	Umschalteingang für Zählmodul *m*
AC	Akkumulator für Bitlogikmodule (temporärer Merker)
SM	binärer Sondermerker

Beispiele:

E1	Bit 1 von EBØ
E371	Bit 3 von EB46
A54	Bit 6 von AB6
ET7	Eingang für Zeitmodul 7
AZ12	Ausgang von Zählmodul 12

Da die Variablen Ei, Aj und Mk gleichzeitig auch Bits von Bytevariablen EBi*, ABj* und MBk* sind, ist unbedingt der Zusammenhang zwischen den Indizes zu berücksichtigen:

$$i^* = \text{integer}\left[\frac{i}{8}\right] \text{ usw.}$$

— Bytevariablen {Ø, ... , 255}

EBi*	Eingangsvariable (jeweils 8 Bitvariablen E enthaltend)
ABj*	Ausgangsvariable (jeweils 8 Bitvariablen A enthaltend)
MBk*	Merker (Byte; jeweils 8 Bitvariablen M enthaltend) für intern erzeugte Zwischengrößen
FZh	Fehlerzelle
ITl	Istwert des Zeitmoduls *l*
DTl	Sollwert für Zeitmodul *l* (Verzögerungs- oder Impulsdauer)
PTl	zusätzlicher Sollwert für Zeitmodul *l* vom Typ VIB1 (Impulspause)
EDr.Ø unteres, EDr.1 oberes	Byte von Doppelbyte-Eingangsvariable EDr
ADs.Ø unteres, ADs.1 oberes	Byte von Doppelbyte-Ausgangsvariable ADs
MDt.Ø unteres, MDt.1 oberes	Byte vom Doppelbytemerker MDt
IZm.Ø unteres, IZm.1 oberes	Byte vom Istwert (2 byte) des Zählmoduls *m*
GZm.Ø unteres, GZm.1 oberes	Byte vom Grenzwert (2 byte Sollwert) des Zählmoduls *m*

Beispiele:

EB46	Eingangsvariable mit E368 ... E375
AB6	Ausgangsvariable mit A48 ... A55
DT7	Sollwert für Zeitmodul 7
ED14.Ø unteres, ED14.1 oberes	Byte der Doppelbyte-Eingangsvariablen ED14
GZ12.Ø	unteres Byte vom Grenzwert des Zählmoduls 12

- Doppelbytevariablen {∅, ... , 65535}
  EDr Eingangsvariable
  ADs Ausgangsvariable
  MDt Merker (2 byte); für intern erzeugte Zwischengrößen
  IZm Istwert (2 byte) des Zählmoduls *m*
  GZm Grenzwert (2 byte Sollwert) für Zählmodul *m*

  Beispiele: ED14 Doppelbyte-Eingangsvariable, bestehend aus den Bytevariablen ED14.∅ und ED14.1
  GZ12 Grenzwert für Zählmodul 12, bestehend aus den Bytes GZ12.∅ und GZ12.1

4.3.5.4.3. Vereinbarungen

Die folgenden fünf Typen von Vereinbarungen können an beliebiger Stelle des Programmsystems stehen, in der Regel jedoch allen Programmen vorangestellt oder jeweils im Programm direkt nach der Programmeröffnung. Diese Vereinbarungen finden durch den Compiler nur Berücksichtigung bei der Erstellung des Systemblocks.

- PEAV Prozeßeingabe-/-ausgabevereinbarung
  zur anwendungsspezifischen Zuordnung von Prozeßsignalen zu Variablen eines SPS-internen Abbildspeichers über Eingabegeräte und der umgekehrten Zuordnung über Ausgabegeräte.
- DEF1 Initialisierungsvereinbarung für Bytevariablen,
  z. B. DEF1 AB11,37H,123Q,2∅9
  ;AB11: = 37H, AB12: = 123Q, AB13: = 2∅9
- DEF2 Initialisierungsvereinbarung für Doppelbytevariablen,
  z. B. DEF2 MD23,49H,∅B43FH
  ;MD23: = 49H, MD24: = ∅B43FH, bzw. MD23.∅: =
  ;49H, MD23.1: = ∅, MD24.∅: = 3FH, MD24.1: = ∅B4H
  DEF2 AB11,5337H,2∅9
  ;AB11: = 37H, AB12: = 53H = 123Q, AB13: = 2∅9 =
  ;∅D1H, AB14: = ∅
- APRE Vereinbarung zur Einbindung eines prioritätsgesteuerten externen Programms (Maschinencodeprogramm) ins Programmsystem
- IPRE Vereinbarung zur Einbindung eines interruptgesteuerten externen Programms (Maschinencodeprogramm) ins Programmsystem.

Mit den nachfolgenden Vereinbarungen werden PROLOG-2-Programme eröffnet. Die Angaben in den Vereinbarungen bezeichnen das jeweilige Programm und legen Modalitäten der Abarbeitung fest:

- APRO Vereinbarung eines prioritätsgesteuerten Programms
- IPRO Vereinbarung eines interruptgesteuerten Programms
- UPRO Vereinbarung eines Unterprogramms.

4.3.5.4.4. Anweisungen

Anweisungen sind Aufrufe von Programmodulen und Betriebssystemrufe. Programmodule sind entweder vom Compiler ins Objektprogramm generierte Prozeduren im Sinne von Makros (u. a. alle Logik- und Transportmodule) oder Unterprogramme als fester Bestandteil von LOGOS 5020. Die Anweisungen dazu bestehen jeweils aus dem Modulbezeichner und einer Folge von Operanden.

- Prozeßsignaleingabe-/-ausgabemodule
  PRIN Prozeßsignaleingabe in Regie von EIEX
  PROU Prozeßsignalausgabe in Regie von EIEX
  PRES schnelle Prozeßsignaleingabe
  PRAS schnelle Prozeßsignalausgabe

Tafel 4.3.4. Programmodule

Modul	Symbol	Beispiel/Erläuterung
Bitlogikmodule		
UNDB		UNDB M1,E15,/E7,ET2Ø,A13 4-Eingangs-UND-Gatter, wobei ein Eingang negiert
ODRB		ODRB M3,AZ6,/M1Ø 2-Eingangs-NOR-Gatter
XORB		XORB E12,AT9,/A17,RZ4 Addition modulo 2 (serielle Antivalenz, Paritätsdetektor) mit drei Eingängen
BOOL		BOOL $y = f(x_0, \dots, x_i, \dots, x_{n-1})$ Ermittlung des Wertes einer Schaltfunktion (Boolescher Ausdruck für mehrstufige UND-ODER-NICHT-Logik)
Bytelogikmodule		
UNDD		UNDD ED5.1,3Ø7Q,AB12 8fach UND-Verknüpfung (bitweise je Byte)
ODRD		ODRD EB37,MB4,MB4 8fach ODER-Verknüpfung (bitweise je Byte)
XORD		XORD MB4,ØC7H,AD3.Ø 8fach Addition modulo 2 (bitweise je Byte)
Zeitmodule		
TAN1		TAN1 13,8Ø,CS Zeitglied Nr. 13 mit 0,8 s Anzugsverzögerungszeit

Tafel 4.3.4 (Fortsetzung)

Modul	Symbol	Beispiel/Erläuterung
TAB1	Ø/DT; ET4, RT4; TAB1 Nr. 4; AT4	TAB1 4,1ØØ,DS Zeitglied Nr. 4 mit 10 s Abfallverzögerungszeit
IPG1	DT; ET21, RT21; S; IPG1 Nr. 21; AT21	IPG1 21,12Ø,S Zeitglied Nr. 21 (Impulsgeber-MMV) mit 2 min Impulsdauer
VIB1	DT/PT; ET17, RT17; G; VIB1 Nr. 17; AT17	VIB1 17,1Ø,9Ø,CS Zeitglied Nr. 17 (steuerbarer astabiler Multivibrator – AMV) für 1 Hz mit Tastverhältnis 1:9
Zählmodule		
ZV01	EZ9, RZ9; CT2; ZV01 Nr. 9; AZ9	ZV01 9,175 Zählglied Nr. 9 (Vorwärtszähler) mit Zählgrenzwert GZ9 = 175 (max. 1 byte)
ZV02	EZ5, RZ5; CT2; ZV02 Nr. 5; AZ5	ZV02 5,4711 Zählglied Nr. 5 (Vorwärtszähler) mit Zählgrenzwert GZ5 = 4711 (max. 2 byte)
ZVR2	EZ17, UZ17, RZ17; CT2; ZVR2 Nr. 17; AZ17	ZVR2 17,288 Zählglied Nr. 17 (Vörwärts-/Rückwärtszähler) mit Zählgrenzwert GZ17 = 288 (max. 2 byte)

– Transportmodule

UMBI Wertzuweisung an Bitvariable; bedingt oder unbedingt,
z. B. UMBI M27,/A13,AT3
;$\overline{\text{A13}}$:=M27 bzw. A13:=$\overline{\text{M27}}$ für AT3=1
;A13 unverändert für AT3=Ø

UMD1 Wertzuweisung an Bytevariable; bedingt oder unbedingt,
z. B. UMD1 1Ø1Ø1Ø1ØB,AB9,E117
;AB9:=ØAAH, wenn E117=1, ansonsten unverändert
. UMD1 MB27,MB37; MB37:=MB27

UMD2 Wertzuweisung an Doppelbytevariable; bedingt oder unbedingt

— Bitlogik-, Bytelogik-, Zeit- und Zählmodule sind in Tafel 4.3.4 dargestellt. Ihre Funktion ist äquivalent der bekannter Hardware-Bausteine. In der Tabelle entspricht die symbolische Darstellung dem jeweiligen Beispiel.

— Vergleichsmodule

VGL1 Vergleich zweier Byteoperanden auf Gleichheit
VGL2 Vergleich zweier Doppelbyteoperanden auf Gleichheit
VGR1 Vergleich zweier Byteoperanden auf „Größer",
z. B. VGR1 EB16,1ØØ,/M13
;M13:=1 für EB16 > 1ØØ
;$\overline{\text{M13}}$:=Ø für EB16 ≦ 1ØØ
VGR2 Vergleich zweier Doppelbyteoperanden auf „Größer",
z. B. VGR2 ED13,MD29,A96
;A96:=1 für ED13 > MD29
;A96:=Ø für ED13 ≦ MD29

— Programmorganisationsmodule

SPRG Sprung zu einer Zielmarke; bedingt oder unbedingt,
z. B. SPRG 21 ;unbedingter Sprung zur Marke 21
SPRG 22,E53 ;Sprung zur Marke 22, wenn E53=1
SPUP Unterprogrammaufruf; bedingt oder unbedingt,
z. B. SPUP OTTO ;unbedingter Aufruf des Unterprogramms OTTO
;(UP beginnt mit der Zeile „UPRO OTTO")
UEND Endemarkierung für Unterprogramm
PEND Endemarkierung für prioritätsgesteuertes Programm
IEND Endemarkierung für interruptgesteuertes Programm

— Arithmetikmodule

Sie verarbeiten vorzeichenbehaftete Rechtskomma-Dualzahlen (Integer-Arithmetik).
ADD1 Addition von Byteoperanden
z. B. ADD1 EB14,115,MB15 ;⟨MB15⟩:=⟨EB14⟩+115
ADD2 Addition von Doppelbyteoperanden
SUB1 Subtraktion von Byteoperanden
z. B. SUB1 MB11,EB9,MB12 ;⟨MB12⟩:=⟨MB11⟩−⟨EB9⟩
SUB2 Subtraktion von Doppelbyteoperanden
MUI1 Multiplikation von Byteoperanden
MUI2 Multiplikation von Doppelbyteoperanden
DVI1 Division von Byteoperanden
DVI2 Division von Doppelbyteoperanden
INK1 Inkrementieren einer Bytevariablen
INK2 Inkrementieren einer Doppelbytevariablen
DEK1 Dekrementieren einer Bytevariablen
DEK2 Dekrementieren einer Doppelbytevariablen

— Konvertierungsmodule

DUD1 Dualzahl in dreistellige BCD-Zahl
DUD2 Dualzahl in fünfstellige BCD-Zahl,
z. B. DUD2 MD9,AB8 ;für z. B. MD9=7C8ØH=31872
;ergibt die Konvertierung:
; AB8:=Ø111ØØ1ØB ≙ 72
; AB9:=ØØØ11ØØØB ≙ 18
; AB1Ø:=ØØØØØØ11B ≙ Ø3
DED1 BCD-Zahl in 1-byte-Dualzahl
DED2 BCD-Zahl in 2-byte-Dualzahl

- Ergänzungsmodule
  SEMO selbständige Ergänzungsmodule mit Parameterübergabe.
  Unter der Bezeichnung „SEMO" können weitere Module eingeführt werden, ohne in einen abgeschlossenen Compiler für PROLOG 2 eingreifen zu müssen. Die eigentliche Modulprozedur wird in die Sammlung von Sprachmodulen des Betriebssystems der SPS aufgenommen.
- Betriebssystemrufe
  STRT Start eines Programms zum einmaligen Lauf
  STRZ Start eines Programms zum zeitzyklischen Lauf
  CANC Austragung aus Zeit- und/oder Vorrangorganisation
  PAUS Programmunterbrechung
  GOTO Programmfortsetzung
  DISP Programmverhinderung
  ENAP Programmerlaubnis.

4.3.5.5. Programmierbeispiele

Mit den nachfolgenden zwei Beispielen soll die Programmnotation im informationsverarbeitenden Teil von PROLOG-2-Programmen verdeutlicht werden. Dabei sei von praktischen Anwendungsfällen abstrahiert, um in relativ kleinen Beispielen viele Besonderheiten unterbringen zu können.

Beispiel 1

Es sei angenommen, daß der Steueralgorithmus, für den die SPS programmiert werden soll, bereits als Logikplan vorliegt. Im Bild 4.3.11 ist eine Teilschaltung (Auszug vom Gesamtlogikplan) dargestellt, für die hier das Steuerprogramm aufgestellt wird. Unter Berücksichtigung der byteweisen Zusammenfassung von E/A-Signalen durch die Prozeß-E/A-Baugruppen werden die Eingänge E und die Ausgänge A bezeichnet. Alle Zeit- und Zählbausteine werden klassifiziert und äquivalente Zeit- und Zählmodule von PROLOG 2 oder notwendigenfalls Ersatzschaltungen zugeordnet. Alle Zeitmodule werden von ∅ beginnend durchnumeriert; desgleichen alle Zählmodule. Alle Ein- und Ausgänge dieser Module werden mit den typspezifischen Variablenbe-

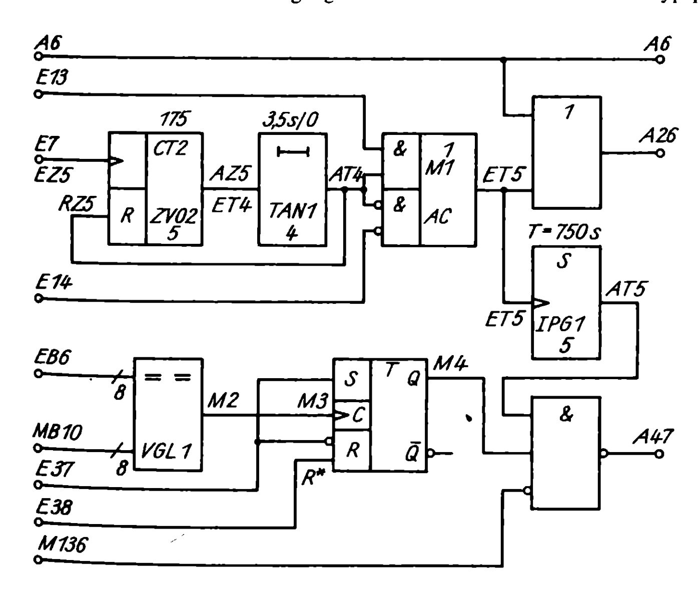


Bild 4.3.11
Logikplan einer Teilschaltung

zeichnungen versehen. Jedem durch Bausteine begrenzten Signalpfad einschließlich seiner Verzweigungen wird ein Bitmerker zugeordnet, sofern der Signalpfad nicht schon durch den Ein- oder Ausgang eines angrenzenden Zeit- oder Zählbausteins bezeichnet ist. Ein solcher Bitmerker kann, nachdem seine Weiterverarbeitung in den nachfolgenden Bausteinen erfolgt ist, an anderer Stelle erneut verwendet, d. h. also mehrfach verwendet werden. Das Ergebnissignal einer logischen Verknüpfung, das nicht über einen Knoten verteilt wird, kann auch mit AC bezeichnet werden, sofern die im Logikplan nachfolgende Verknüpfung auch im Quellprogramm in der nächsten Zeile sofort erfolgt. AC repräsentiert den Akkumulator der Einzelbitverarbeitung und kann in der Programmnotation als temporärer Bitmerker verwendet werden.

Die zusätzlichen, für die Programmnotation notwendigen Bezeichnungen sind im Bild bereits eingetragen. Der Rücksetzeingang des anzugverzögernden Zeitgliedes *TAN1* Nr. 4 ist nicht beschaltet; er wird auch in der Programmnotation nicht verwendet. Die Anzugverzögerungszeit von 3,5 s wird als 35 Dezisekunden angewiesen. Da der Impulsgeber *IPG1* in jedem Zeitbereich nur bis max. 255 programmiert werden kann, werden die geforderten 75Ø s als 125 Deziminuten angewiesen. Sollte die damit erreichte Auflösung nicht ausreichen, müßte nach einer Ersatzschaltung programmiert werden.

Das im Logikplan enthaltene positiv flankengetriggerte *RS*-Flipflop muß durch eine Ersatzschaltung programmiert werden. Für PROLOG 2 wurde auf die Übernahme von Elementarspeichern in das Modulsortiment verzichtet, da sich dafür die Notation der äquivalenten Schaltgleichungen anbietet. Für synchron getaktete Elementarspeicher kann die Taktung bei einer SPS-Implementierung der Steuerschaltung meist durch den zyklischen Programmlauf ersetzt werden, bzw. sie erübrigt sich. Bei asynchron getakteten Elementarspeichern muß das Taktsignal in den Ansteuerbedingungen berücksichtigt werden. Im vorliegenden Fall muß vom Ergebnissignal M2 des Byte-Vergleichs der Ø-1-Übergang (positive Signalflanke) erkannt werden. Die Anweisungsfolge lautet:

```
UMBI M2,M3 ;          M3 wird als Zwischenmerker verwendet
VGL1 EB6,MB1Ø,M2 ;M2 wird neu erzeugt
UNDB /M3,M2,M3 ;  M3=1 bei positiver Signalflanke
```

M3 wird nachfolgend mit den Ansteuerbedingungen für den Elementarspeicher konjunktiv verknüpft. Die allgemeine Gleichung für das *RS*-Flipflop mit dominierendem Setzen (*S*-Flipflop) lautet: ${}^{k+1}Q = {}^{k}(S + \overline{R^*} \cdot Q)$.
Mit $S = E37.M3$ und $R^* = E38.M3$ folgt für die Notation der Speichergleichung mittels Sprachmoduls „BOOL“:

```
BOOL M4=E37.M3+/(E38.M3).M4
```

Das Programm für die Schaltung, in der die vorgegebene Teilschaltung enthalten ist, soll zeitzyklisch mit 3Ø ms Zykluszeit abgearbeitet werden und im Rahmen aller SPS-Programme mit der Priorität 12 laufen. Die Programmnotation ist in Tafel 4.3.5 dargestellt. Darin gibt es eine Besonderheit, die nicht im Logikplan enthalten ist. Wenn erstmalig A6=1, wird der Grenzwert für Zählmodul Nr. 5 auf den Wert 35Ø gesetzt.

Das gesamte Programm besteht aus *n* Vereinbarungen und Anweisungen. Die Teilschaltung wird durch 16 Anweisungen bzw. Modulaufrufe realisiert. Die logischen Grundverknüpfungen in den Programmzeilen l+6 bis l+8 können zusammengefaßt als Schaltgleichung programmiert werden. Mit

```
BOOL ET5=E13.AT4+/AT4./E14
```

reduziert sich die Anweisungsfolge auf 14 Modulaufrufe.

Beispiel 2

Die Aufgabenstellung ist durch den modifizierten Automatengraph im Bild 4.3.12 gegeben. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind die Ausgangszustände separat in einer Ausgabetabelle dargestellt.

Tafel 4.3.5. Programmnotation für Beispiel 1

Zeile Nr.	Vereinbarung, Anweisung	Kommentar
ØØØ1	APRO 12,3,CS;	Programm der Priorität 12, ;zyklisch mit 3Ø ms
ØØØ2	PEAV . . .;	Prozeßeingabe-/-ausgabevereinbarung
	.	
k	PRIN . . .;	Aufrufe der Eingaben
	.	
l	UMBI E7,EZ5	
l + 1	UMBI AT4,RZ5	
l + 2	UMD2 35Ø,GZ5,A6;	GZ5: = 35Ø, wenn A6 = 1
l + 3	ZVO2 5,175;	Vorwärtszähler Nr. 5
l + 4	UMBI AZ5,ET4	
l + 5	TAN1 4,35,DS;	Zeitmodul Nr. 4
l + 6	UNDB E13,AT4,M1	
l + 7	UNDB /AT4,/E14,AC;	Ergebnis bleibt im Akku, weil erster Operand
l + 8	ODRB AC,M1,ET5;	in nächster Zeile
l + 9	ODRB A6,ET5,A26	
l + 1Ø	IPG1 5,125,DM;	Zeitmodul Nr. 5
l + 11	UMBI M2,M3;	M3 puffert altes Vergleichsergebnis
l + 12	VGL1 EB6,MB1Ø,M2;	Byte-Vergleich
l + 13	UNDB /M3,M2,M3;	M3 = 1 bei positiver Signalflanke
l + 14	BOOL M4 = E37.M3+/(E38.M3).M4	;*S*-Flipflop
l + 15	UNDB AT5,M4,/M136,/A47	
	.	
m	PROU . . .;	Aufrufe der Ausgaben
	.	
n	PEND;	Ende des prioritätsgesteuerten Programms

Auf die Syntheseschritte – Reduktion der Anzahl der inneren Zustände, Codierung der Zustände und Berechnung der Strukturgleichungen –, die jeweils mit einem bestimmten Minimierungsproblem verbunden sind, kann hier nicht näher eingegangen werden. Das Ziel dieser Handlungen ist es, ein optimales System von Überführungs- und Ergebnisgleichungen zu erhalten:

$$
\begin{aligned}
{}^{k+1}z_l &= \delta_l^k(z_0, \dots, z_l, \dots, z_{r-1}, x_0, \dots, x_{n-1}) \\
{}^{k+1}y_j &= \lambda_j[{}^{k+1}(z_0, \dots, z_{r-1}), {}^{k}(x_0, \dots, x_{n-1})] .
\end{aligned}
$$

In der Regel werden für die Implementierung die Überführungsgleichungen in der charakteristischen Form für einen bestimmten Elementarspeichertyp dargestellt. Obwohl bei Implementierung durch eine SPS dafür keine Notwendigkeit besteht, wird hier aus Gründen der Übersichtlichkeit, insbesondere bei der Inbetriebsetzung, dieser Weg empfohlen.

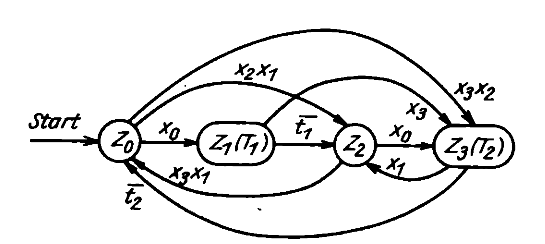


Bild 4.3.12. Programmierbeispiel

	$\bar{x}_3\bar{x}_0$	$\bar{x}_1\bar{x}_0$	$\bar{x}_1x_0$	$x_1\bar{x}_0$	x_1x_0	x_3x_1
Z_0	Y_0	Y_0	—	Y_0	—	Y_0
Z_1	Y_1	Y_1	Y_2	Y_1	Y_2	—
Z_2	Y_3	Y_3	—	Y_3	—	Y_3
Z_3	Y_4	Y_4	Y_5	—	—	—

$t_1 = 1$ für die Zeitdauer $T_1 = 2$ s nach Einnahme des Zustands Z_1
$t_2 = 1$ für $T_2 = 12$ s nach Einnahme von Z_3

Unter Zugrundelegung einer „1 aus n"-Codierung für die inneren Zustände

$$Z_0 = \bar{z}_3\bar{z}_2\bar{z}_1z_0\,, \quad Z_1 = \bar{z}_3\bar{z}_2z_1\bar{z}_0\,, \quad Z_2 = \bar{z}_3z_2\bar{z}_1\bar{z}_0\,, \quad Z_3 = z_3\bar{z}_2\bar{z}_1\bar{z}_0$$

und einer charakteristischen Speichergleichung vom Typ JK

$$^{k+1}z_l = {}^k(J_l\bar{z}_l + \bar{K}_lz_l)$$

ergibt sich folgendes Strukturgleichungssystem als Vorlage für die SPS-Programmierung:

$$^{k+1}z_0 = {}^k(J_0\bar{z}_0 + \bar{K}\cdot z_0) \quad \text{mit} \quad J_0 = \bar{z}_3\bar{z}_2\bar{z}_1 + z_2x_3x_1 + z_3\bar{t}_2$$
$$^{k+1}z_1 = {}^k(J_1\bar{z}_1 + \bar{K}\cdot z_1) \quad \text{mit} \quad J_1 = z_0x_0$$
$$^{k+1}z_2 = {}^k(J_2\bar{z}_2 + \bar{K}\cdot z_2) \quad \text{mit} \quad J_2 = z_3x_1 + z_1\bar{t}_1 + z_0x_2x_1$$
$$^{k+1}z_3 = {}^k(J_3\bar{z}_3 + \bar{K}\cdot z_3) \quad \text{mit} \quad J_3 = z_2x_0 + z_1x_3 + z_0x_3x_2$$
$$\text{mit} \quad K = J_3 + J_2 + J_1 + J_0$$
$$y_0 = z_1 + z_3x_0 \qquad y_1 = z_1x_0 + z_3\bar{x}_0 \qquad y_2 = z_2 + z_3\,.$$

Die Zustände Z_1 und Z_3 sind maximal für die Zeiten T_1 bzw. T_2 stabil. Die zeitbegrenzten Signale t_1 und t_2 werden jeweils mit Aktivierung der Zustände Z_1 bzw. Z_3 auf logisch „1" gesetzt und bei der SPS-Programmierung durch Zeitmodule vom Typ IPG1 realisiert. Das Anstoßen der Zeitmodule kann durch J_1 und J_3 erfolgen. Eine Signalflankenerkennung ist nicht notwendig, da J_1 bzw. J_3 sowieso nur für einen Programmzyklus gleich 1 ist.
Variablenzuordnung:

x_0 = E8	t_1 = AT1	J_0 = M44	y_0 = A16
x_1 = E9	t_2 = AT2	J_1 = ET1	y_1 = A17
x_2 = E1∅		J_2 = M45	y_2 = A18
x_3 = E11		J_3 = ET2	
		K = M46	
$^{k+1}z_0$ = M4∅		$^kz_0$ = M32	
$^{k+1}z_1$ = M41		$^kz_1$ = M33	
$^{k+1}z_2$ = M42		$^kz_2$ = M34	
$^{k+1}z_3$ = M43		$^kz_3$ = M35	

Tafel 4.3.6. Programmnotation für Beispiel 2

Zeile Nr.	Vereinbarung Anweisung	Kommentar
ØØØ1	APRO . . .;	Programmvereinbarung (Programm ;muß zeitzyklisch arbeiten)
ØØØ2	PEAV	Prozeßeingabe-/-ausgabevereinbarung
k	PRIN . . .;	Aufrufe der Eingaben
l	UMDI MB5,MB4 ;Umladen der Speichervariablen M4Ø . . . ;. . . M43 nach M32 . . . M35	
l + 1	BOOL M44=/M35./M34./M33+M35./AT2+M34.E11.E9;	J_0
l + 2	BOOL ET1=M32.E8;	J_1
l + 3	BOOL M45=M35.E9+M33./AT1+M32.E1Ø.E9;	J_2
l + 4	BOOL ET2=M34.E8+M33.E11+M32.E1.E1Ø;	J_3
l + 5	BOOL M46=M44+ET1+M45+ET2;	K
l + 6	IPG1 1,2Ø,DS;	$T_1 = 2$ s
l + 7	IPG1 2,12Ø,DS;	$T_2 = 12$ s
l + 8	BOOL M4Ø=M44./M32+/M46.M32;	$^{k+1}z_0$
l + 9	BOOL M41=ET1./M33+/M46.M33;	$^{k+1}z_1$
l + 1Ø	BOOL M42=M45./M34+/M46.M34;	$^{k+1}z_2$
l + 11	BOOL M43=ET2./M35+/M46.M35;	$^{k+1}z_3$
l + 12	BOOL A16=M41+M43.E8;	y_0
l + 13	BOOL A17=M41.E8+M43./E8;	y_1
l + 14	BOOL A18=M42+M43;	y_2
m	PROU . . .;	Aufrufe der Ausgaben
n	PEND;	Ende des prioritätsgesteuerten Programms

Die Programmnotation ist in Tafel 4.3.6 dargestellt.

Das Umladen der Speichervariablen wäre bei diesem kleinen und übersichtlichen Problem nicht unbedingt notwendig. Es ist jedoch vorteilhaft, bei der Inbetriebsetzung nach jedem Programmzyklus einen möglichen Zustandswechsel dargestellt zu bekommen.

4.3.5.6. Programmierung, Test und Inbetriebsetzung der SPS ursalog 5020

Für die Programmierung der SPS ursalog 5020 steht dem Anwender das Programmiergerät PG ursatron 5000 zur Verfügung. Es kann auch zur Unterstützung der Inbetriebsetzung der SPS vorteilhaft eingesetzt werden. Im Bild 4.3.13 sind die notwendigen Arbeitsschritte für die Programmierung, den Test und die Inbetriebsetzung der Anwendersteuerprogramme dargestellt.

Als zusätzliches Arbeitsmittel für das Inbetriebsetzungs- und insbesondere für das Servicepersonal bietet sich die Serviceeinheit ursatron 5000 an. Sie ist äußerlich dem PG ursatron 5000 ähnlich und dient als hardwarenahes Prüfmittel für die Einrichtungen ursadat 5000 und ursalog 5020.

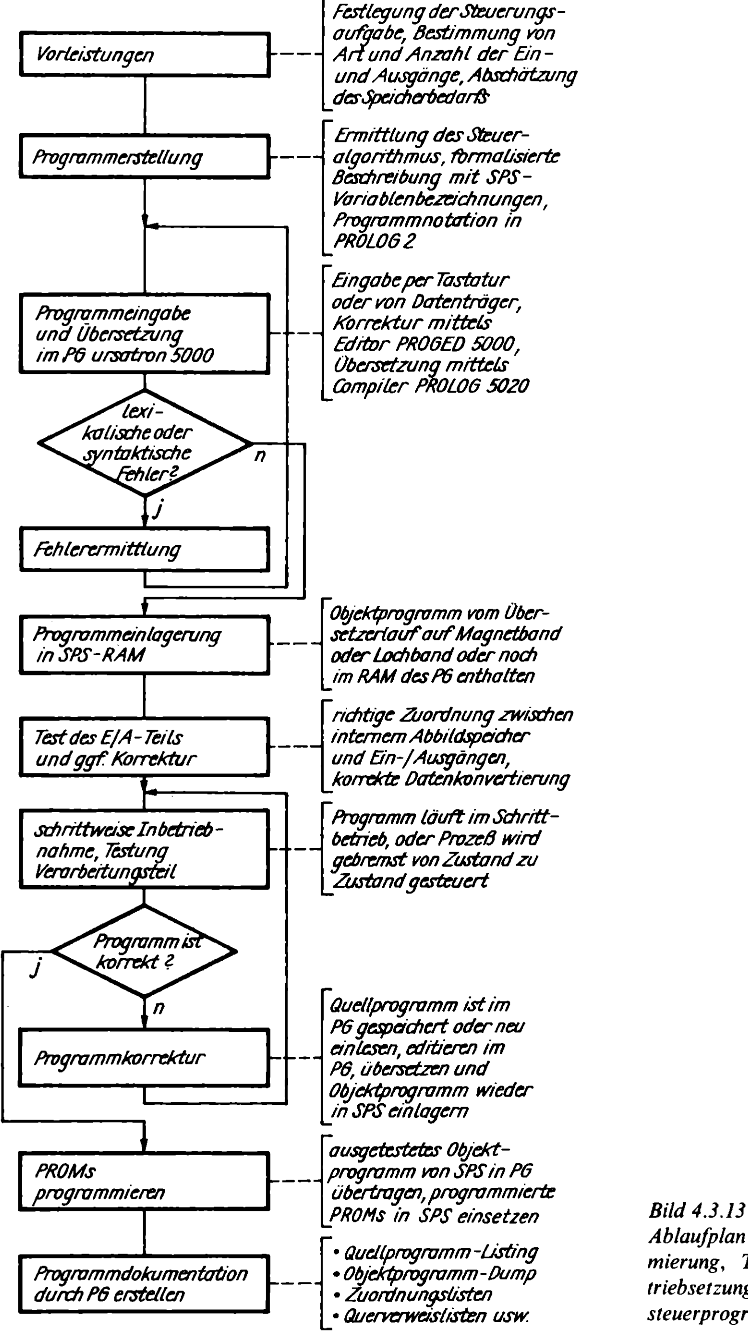


Bild 4.3.13
Ablaufplan für Programmierung, Test und Inbetriebsetzung von Anwendersteuerprogrammen

4.3.5.6.1. Programmierung mittels PG ursatron 5000

Das in PROLOG 2 notierte Anwendersteuerprogramm wird über die alphanumerische Tastatur des PG in einen RAM eingegeben. Erfolgt dies in Regie von PROLOG 5020, wird unmittelbar Zeile für Zeile übersetzt und das Objektprogramm ebenfalls im RAM abgelegt. Dem Programmierer werden syntaktische und lexikalische Fehler gemeldet, so daß er sofort korrigieren kann.

Erfolgt die Eingabe in Regie von PROGED 5000, werden keine Fehler gemeldet, und das Quellprogramm muß anschließend in seiner Gesamtheit übersetzt werden. Die dabei gemeldeten Fehler werden vor dem erneuten Übersetzerlauf mittels Editor korrigiert. Derart ist auch bei Ergänzungen und bei Programmkorrekturen während der Inbetriebsetzung zu verfahren (Bild 4.3.13).

Quell- und Objektprogramme können ausgedruckt und auf externe Datenträger übertragen werden. Das Objektprogramm kann chipweise auf EPROMs geladen werden.

Mit dem PG ursatron 5000 können auch „externe" Programme (Assemblerprogramme APRE und IPRE) erstellt werden. Dies erfolgt in bekannter Weise wie mit gebräuchlichen Programmentwicklungssystemen. Die Assemblierung übernimmt PROGAS 5000.

4.3.5.6.2. Inbetriebsetzung der SPS und Programmtest

Für die Inbetriebsetzung und den Test der Anwendersteuerprogramme wird die SPS über die serielle Schnittstelle IFSS mit dem PG ursatron 5000 gekoppelt. Zu diesem Zweck müssen die Testprogramme LOTES 5020 in der SPS und PROTES 5020 im PG geladen sein. Durch eine Viel-

Tafel 4.3.7. Kommandos der Testprogramme

Testkommando	Erläuterung
DM	Display-Memory (lesen, schreiben)
DP	Display-Port (lesen, schreiben)
CP	Copy (Speicher-Transfer)
CR	Compare (Vergleich und suchen)
TI	TRAM initialisieren
TE	TRAM-Bereiche einschalten
TA	TRAM-Bereiche ausschalten
TS	TRAM-Bereiche schützen
TR	TRAM-Bereiche rückadressieren
PR	PROM-Read
PP	PROM-Programmierung
PC	PROM-Clear-Test
CC	CRC-Prüfsumme bilden
DR	Display-Register (CPU-Register lesen, schreiben)
FB	Folge-Befehl (Befehls-Schrittbetrieb)
FZ	Folge-Zeile (Zeilen-Schrittbetrieb)
GT	Go To (Vorgabe Startadresse)
GG	Go (Start Anwenderprogramm)
BR	Break (anzeigen, setzen und löschen)
DV	Display-Variable (lesen, schreiben)
CA	Cassetten-Ausgabe auf KMBG
CE	Cassetten-Eingabe von KMBG
RE	Software-Reset

zahl von Testkommandos steht dem Anwender ein komfortables Hilfsmittel zur Testung seiner Programme zur Verfügung. In PROTES 5020 werden im wesentlichen die vom Bediener im Dialogverkehr vorgegebenen Kommandos aufbereitet und zur Ausführung an LOTES 5020 in der SPS übergeben sowie Rückmeldungen auf dem Bildschirm dargestellt.

Ohne das PG kann die Inbetriebsetzung mit geringem Komfort auch mittels Kontrollmoduls (KOMO) und Tastatur- und Anzeigevorsatz (TAV) durchgeführt werden. In jedem Fall können die in Tafel 4.3.7 aufgelisteten Kommandos vorgegeben und von LOTES 5020 ausgeführt werden.

Eine wesentliche Unterstützung bei der Inbetriebsetzung (aber auch im laufenden Betrieb) bieten die im PVE2 enthaltenen Komponenten zur Erkennung von Anlauf- und Systemlauffehlern (einschließlich Hardware-Fehler) und zu ihrer Anzeige am TAV. Im Anlauf werden z. B. folgende Fehler erkannt:

- falsche Parameterangabe in einer PEA-Vereinbarung
- RAM reicht nicht aus
- vorgegebene Task-Nr. (Priorität) ist unzulässig
- Anzahl der Interruptquellen ist größer als generiert
- „Programmabsturz"
- PROM-Fehler
- RAM-Fehler.

Am TAV werden Fehlertyp, Fehlerparameter und ggf. Fehleradresse angezeigt. Bei einem Systemlauffehler werden darüber hinaus noch das verursachende Programm und die Uhrzeit des Auftritts mitgeteilt.

Systemlauffehler sind z. B.

- Verwendung eines nicht generierten Rufs
- Auftreten eines verbotenen RST-Befehls
- Auftreten eines nicht verwalteten Interrupts
- Laufzeitüberschreitung
- unzulässiger Ruf
- unzulässige Parameterangabe in einem Ruf
- Fehler in einem logischen Gerät
- PROM-Fehler
- RAM-Fehler.

5. Aufbau von Prozeßsteuerungen

5.1. Anlagenaufbau

Durch den Anlagenaufbau wird die Übersichtlichkeit einer Anlage wesentlich beeinflußt. Bei einer vorausgehenden eingehenden Analyse der Aufgabe ist die Gesamtaufgabenstellung in relativ abgeschlossene Teilbereiche zu zerlegen, wonach die Steuerungsanlage zu gliedern ist. Diese Teilbereiche sollen technologische Funktionsgruppen umfassen, die möglichst unabhängig voneinander sind und einen geschlossenen Steuerungskomplex darstellen. Damit werden folgende Vorteile erreicht:

- bessere Gesamtübersicht
- höhere Verfügbarkeit der Anlage, wenn bei einer Störung (z. B. Bauelementeausfall) nur ein Anlagenteil ausfällt
- Erleichterungen bei Inbetriebsetzung und Wartung
- spätere Erweiterungen sind leichter durchführbar.

Als zweckmäßige Gliederung hat sich die hierarchische Steuerungsstruktur durchgesetzt, wobei die gesamte Steuerung in einzelne Steuerungsebenen untergliedert wird [5.1]. Das Kennzeichen ist, daß in den Ebenen die Funktionseinheiten entkoppelt sind und einzeln bedient werden können. Eine Vermaschung erfolgt in der jeweils höheren Verarbeitungsebene. Bild 5.1.1 zeigt den Aufbau einer hierarchisch geordneten Steuerungsanlage. Die Anzahl der Ebenen wird vom Umfang der Aufgabenstellung bestimmt. Im Bild 5.1.1 sind neben der Prozeß- und Leistungsebene zwei Steuerebenen und die Leitebene dargestellt.

In der Prozeßebene befinden sich die Einrichtungen, die die technologischen Abläufe unmittelbar beeinflussen, sowie die Prozeßsignalgeber, die aus technologischen Zustandsgrößen und antriebsspezifischen Schaltzuständen binäre elektrische Signale erzeugen. Dabei sind Steuersignale zur Weiterverarbeitung in der übergeordneten Steuerebene und Meldesignale zu unterscheiden.

Die Leistungsebene dient der Energiespeisung für die Antriebe. Sie umfaßt die Stellglieder für die Antriebe und kann aus Schaltgliedern (Schützen, Leistungsschaltern) oder Stellgliedern, wie

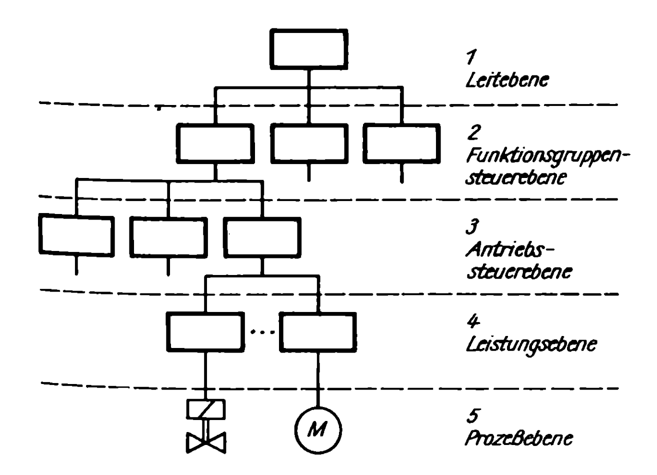


Bild 5.1.1
Aufbau einer hierarchischen Steuerungsstruktur

Thyristoren u. dgl., bestehen. Die Leistungsebene enthält die antriebsbezogenen Schutzeinrichtungen, wie Überstromüberwachung, Unterspannungsauslösung, Notabschaltung. Die Ansteuerung erfolgt vorwiegend aus der Antriebssteuerebene.

Der Leistungsebene übergeordnet ist die Antriebssteuerebene. In dieser Ebene werden die antriebsbezogenen steuerungstechnischen Grundverknüpfungen und die dazugehörige Meldeaufbereitung realisiert. Es wird die unmittelbare Verbindung zur Leistungsebene hergestellt und eine direkte Ansteuerung ermöglicht.

In der Funktionsgruppensteuerebene werden die logischen Funktionen zur Steuerung des technologischen Prozeßablaufs der Funktionsgruppe zusammengefaßt und die Meldungen zur Überwachung des Steuerungsablaufs erzeugt. Es erfolgt eine Überwachung des Prozeßablaufs sowie die Bereitstellung von Steuersignalen für die anzusteuernden Antriebe.

In der Leitebene (Bedien- und Meldeebene) erfolgt die Eingabe von Befehlen und die Quittierung von Meldungen mittels Taster, Schalter oder Tastatur (bei vorhandenem Pultsteuerrechner). Meldungen können akustisch oder optisch (einschließlich Bildschirm und Drucker) ausgegeben werden.

Bei komplizierten Anlagen kann die Funktionsgruppensteuerebene in zwei Ebenen, z. B. Untergruppensteuerebene und Gruppensteuerebene, zerlegt werden. Hier werden in der Literatur unterschiedliche Unterteilungen benutzt. Entscheidend ist, daß die Struktur nach den eingangs aufgestellten Grundsätzen der Entkopplung in einer Ebene gewählt wird. Dieser hierarchische Aufbau der Steuerungsanlage beinhaltet eine funktionelle dezentrale Verarbeitung der Signale, die bei verdrahtungsprogrammierten Einrichtungen mit Relais und elektronischen Baugruppen gegeben ist. Das heißt, für die Realisierung jeder Funktion ist eine elektronische Schaltung vorhanden. Mit der Integration der Schaltungstechnik tritt auch eine Zentralisierung von Verarbeitungsfunktionen ein. Der Umfang der Zentralisation wird von der Leistungsfähigkeit der eingesetzten Technik in Verbindung mit den Kosten bestimmt. Mit dem Einsatz von Prozeßrechnern ist eine weitgehende Zentralisierung verbunden. Preis und Volumen zwingen zu einer hohen Ausnutzung und damit Zentralisierung der Informationsverarbeitung in einer Zentraleinheit. Im Vergleich zum Prozeßrechner ist mit der Mikroelektronik (Einsatz von Mikroprozessoren) eine Auflösung und Verteilung der Verarbeitungsfunktionen möglich geworden, deren Ergebnis von der Leistungsklasse der mikroelektronischen Einrichtung abhängig ist. Das Wirkprinzip der seriellen Verarbeitung von Signalen über ein zentrales Bauelement, dem Mikroprozessor, bleibt jedoch bestehen, so daß Dezentralisierung und Strukturierung unter dem Gesichtspunkt der notwendigen Zugriffsfähigkeit zu einzelnen Funktionen, der Kosten, des Aufbaus des technologischen Prozesses, der möglichen und notwendigen Redundanz zu betrachten sind.

Neben der funktionellen Betrachtung sind räumliche Gesichtspunkte bei der Wahl und Auslegung zu beachten. Die räumliche Verteilung der Steuerungsanlage — das betrifft auch eine komplette Automatisierungsanlage — ist eine komplexe Optimierungsaufgabe, die die Gerätetechnik, den Verkabelungsaufwand und den Leistungsteil umfaßt. Mit der räumlichen Dezentralisierung werden Anlagenteile verschärften Umweltbedingungen ausgesetzt. Die Anlagenteile müssen in Schutzgrad und Einsatzklasse den Umgebungsbedingungen vor Ort angepaßt werden. Damit sind erhöhte Kosten verbunden, die durch Kabeleinsparungen, bauliche Einschränkungen für zentrale Betriebsräume u. dgl. kompensiert werden müssen. Allgemeingültige Optimierungsvorschriften sind z. Z. noch nicht vorhanden. Der Projektant muß die objektabhängigen Einflußgrößen beurteilen und die Anlage danach auslegen. Von der Gerätetechnik werden Lösungen angeboten, die eine vielfältige Gestaltung der Anlage ermöglichen. In den nachfolgenden Abschnitten werden einzelne Aufbauprinzipien angegeben, die auf der Grundlage der im Abschnitt 4. erläuterten Gerätetechnik möglich sind [5.5] [5.15] [5.17] [5.22].

5.1.1. Anlagenstrukturen

Eine funktionelle Übersicht über den Aufbau der Steuerungsanlage mit verbindungsprogrammierten Baugruppen gibt Bild 5.1.2 [5.2] [5.3] [5.12]. Die Eingangssignale zur Betätigung der Steuerungsanlage, die von Tastern ausgelöst werden, sowie die Stellungsrückmeldungen von der

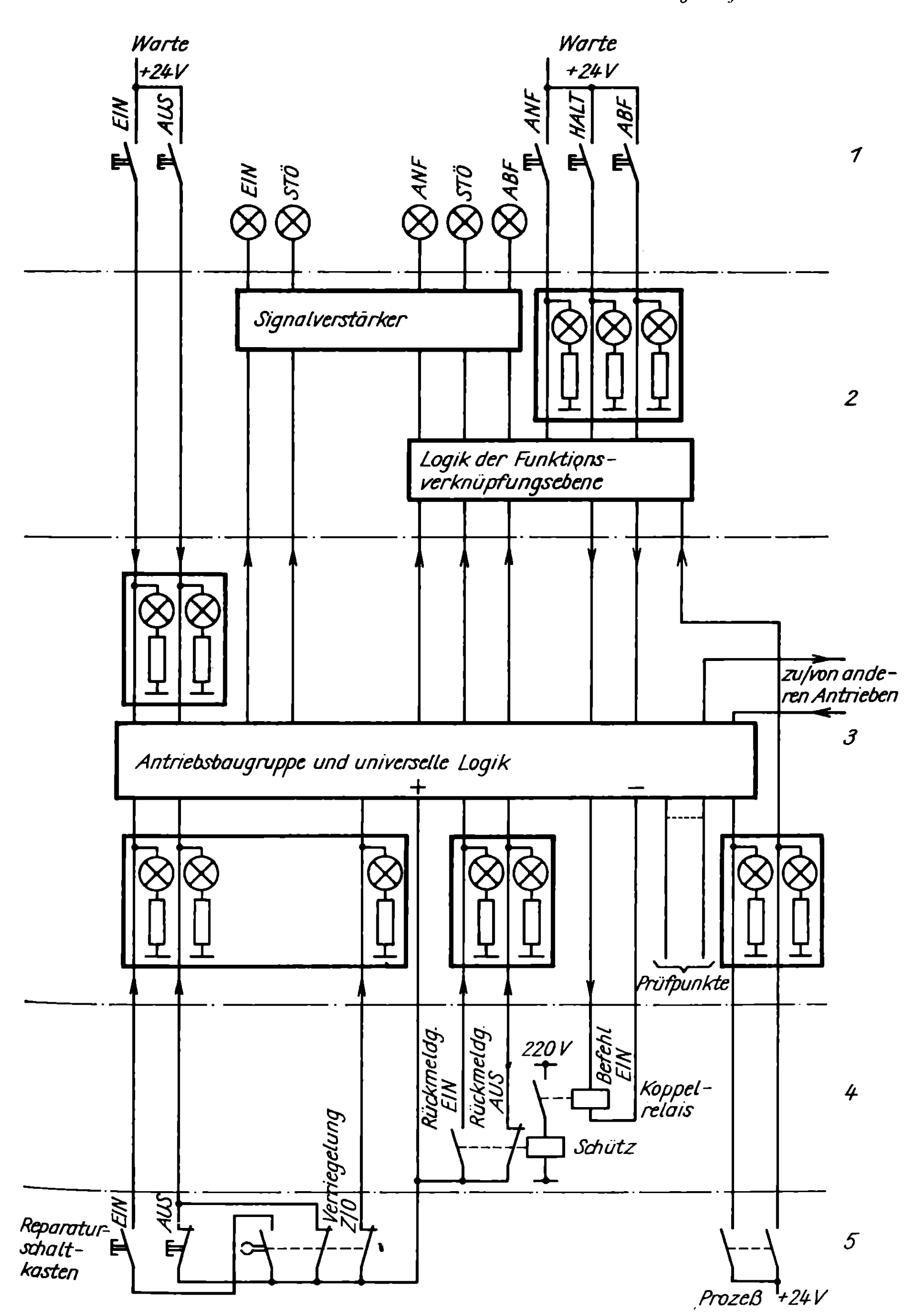


Bild 5.1.2. Aufbau einer Steuerungsanlage mit Baugruppen von ursalog 4000

1 Leitebene; *2* Funktionsgruppensteuerebene; *3* Antriebssteuerebene; *4* Leistungsebene; *5* Prozeßebene

Stellebene werden über Eingangs-Belastungsbaugruppen an die Antriebs- oder Funktionsgruppensteuerebene geführt. Die Belastungsbaugruppen können Bestandteil der jeweiligen Steuerebene sein oder in einer Signalaufbereitung konzentriert werden. Der Signalzustand wird an der Baugruppe angezeigt, was die Übersicht über den Betriebszustand der Anlage erhöht. Die Ausgänge von der Steuerungsanlage zur Anzeige von Signalzuständen in der Betätigungs- und Meldeebene werden über Signalverstärker geführt, womit die Leistungsanpassung an anzuschließende Meldeeinrichtungen erfolgt. Zur Leistungsanpassung an die Schaltanlage dienen vorwiegend Koppelrelais, womit eine Potentialtrennung und Leistungsverstärkung erreicht wird. Zur Leistungsverstärkung werden auch elektronische Schaltverstärker eingesetzt, so daß eine durchgängige Elektronik bis zum Schütz möglich ist.

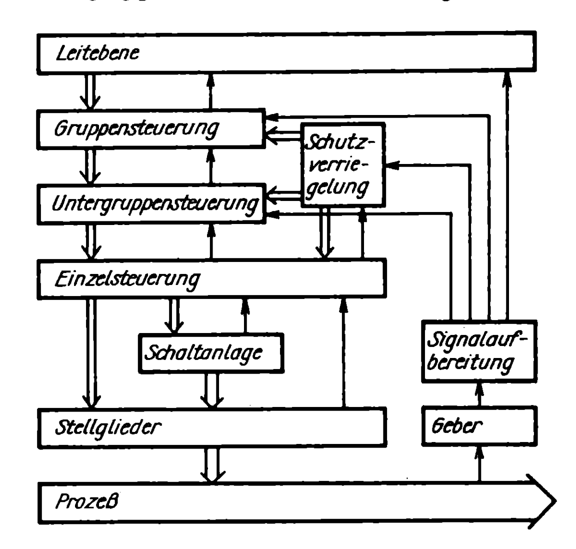


Bild 5.1.3. Strukturschema einer Steuerungsanlage zur Funktionsgruppensteuerung in Kraftwerken mit Schutzverriegelung

Den Aufbau einer Steuerungsanlage für ein Kraftwerk zeigt Bild 5.1.3 [5.37]. Die hierarchische Gliederung entspricht dem Grundprinzip der Funktionsgruppensteuerung und ist für einzelne Funktionsgruppen unterteilt in Untergruppensteuerung und Gruppensteuerung. Die Rückmeldesignale aus dem Prozeß werden in einer getrennten Signalaufbereitungsanlage zusammengefaßt. Hier werden die Funktionen der Signalverteilung, Kontaktbelastung, Kontaktüberwachung, Potentialtrennung realisiert. Mit der Zentralisierung der Signalaufbereitung ist eine weitere Systematisierung des Anlagenaufbaus erreichbar; es können Rückmeldekontakte und Meßgrößen mehrfach potentialgetrennt genutzt werden; Überwachungen der Meßgrößen werden einheitlich gelöst; die Überwachung wird in die Meldeprinzipien eingeordnet.

Zum Schutz der Anlage dient eine Schutzverriegelung, die mit den gleichen Mitteln aufgebaut wird. Redundante Schaltungsauslegungen sorgen für die notwendige Signalsicherheit.

Auf der Grundlage der speicherprogrammierbaren Gerätetechnik und einer Kombination mit verbindungsprogrammierten Baugruppen ist der Aufbau einer Steuerungsanlage räumlich zentral und dezentral bei Einordnung in eine Automatisierungsanlage möglich.

Im Bild 5.1.4 ist die Eingliederung mit drei Varianten der Strukturierung dargestellt, die in Kombination gewählt werden können. Die Automatisierungsanlage besteht aus einem zentralen Pult (Pultsteuerrechner PSR), einer von einer Datensteuerstation (DSS) gesteuerten Datenübertragung und den u. a. angeschlossenen Funktionsgruppensteuerungen, die über den Datenbus mit der Automatisierungsanlage verbunden sind.

In der Variante a) wird auf eine hierarchische Struktur der Steuerungsanlage verzichtet. Die Funktionen der Antriebssteuerung und der übergeordneten Steuerung (Steuerprogramm des

technologischen Abschnitts) werden in einer Einrichtung (z. B. speicherprogrammierbare Steuereinrichtung ursalog 5020) vereinigt. Die Anwendung erfolgt dann, wenn das Steuerprogramm geringen Umfang hat (Verknüpfungssteuerung oder Folgesteuerung) und die antriebsbezogenen Steuerfunktionen den getrennten Ausbau nicht erfordern. Die Vor-Ort-Steuerung wird in das Programm einbezogen. Eine solche Einrichtung ist typisch für den Betrieb autonomer Einrichtungen (Maschinensteuerung) ohne Anschluß an eine Automatisierungsanlage über einen Datenbus und für Steuerungsanlagen mit geringem Umfang.

Bei größeren Steuerungsanlagen und antriebsbezogenen Grundfunktionen, wie Anlaßschaltungen für Schleifringläufermotoren oder Antriebsüberwachungen, ist eine Trennung zur Erreichung der Übersichtlichkeit in Antriebssteuerebene (AS) und Funktionsgruppensteuerebene (FGS) zu empfehlen (Varianten b) und c)). Bei der Variante b) ist die FGS in speicherprogrammierbarer Gerätetechnik ausgeführt. Damit bietet sie die Möglichkeit des direkten Anschlusses an die Datenbahn der Automatisierungsanlage. Die AS kann mit kleineren Einrichtungen, z. B. ursalog 5010, ebenfalls speicherprogrammierbar aufgebaut oder mit problemorientierten Baugruppen realisiert werden. Im ersten Fall ist durch die Wahl des Programms die Antriebsgrundschaltung an die Problemstellung leicht anpaßbar, während die Wahl problemorientierter Baugruppen die

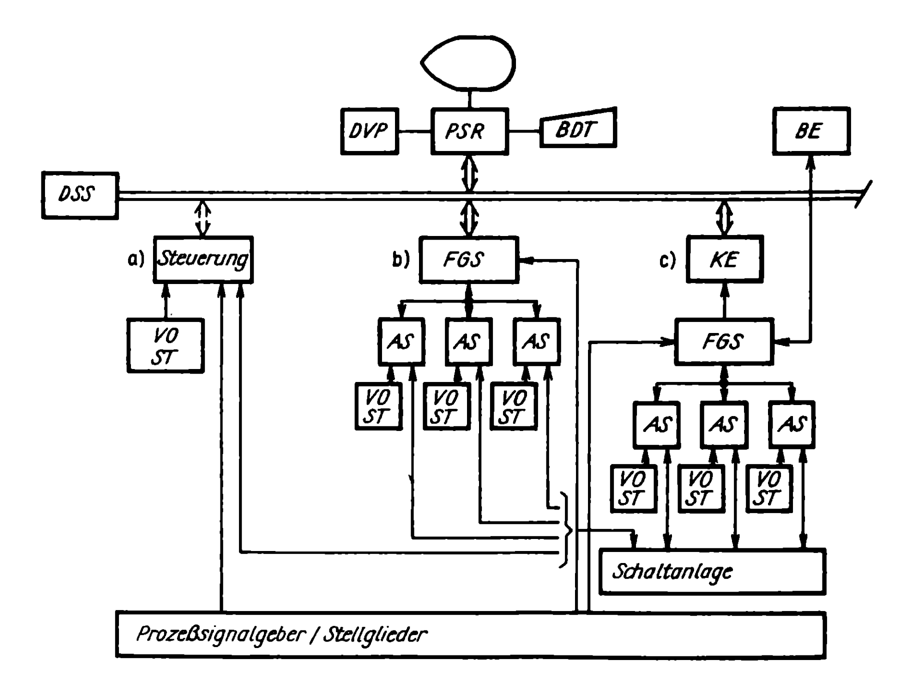


Bild 5.1.4. Einordnung einer Steuerungsanlage in eine Automatisierungsanlage

a) speicherprogrammierbare Basiseinheit
b) Funktionsgruppensteuerung speicherprogrammierbar mit untergeordneter Antriebssteuerebene
c) verdrahtungsprogrammierte Steuerung mit speicherprogrammierbarer Koppeleinrichtung

DVP Datenverarbeitungsperipherie
PSR Pultsteuerrechner
BDT Bedientastatur
BE Bedienelemente
DSS Datensteuerstation
VOST Vor-Ort-Steuerung
FGS Funktionsgruppensteuerung
AS Antriebssteuerung
KE Koppeleinrichtung

Systematisierung und Konfektionierung der Antriebsgrundschaltung voraussetzt. Die Vor-Ort-Steuerung wirkt auf die Antriebssteuerebene.

Bei der Variante c) ist die Funktionsgruppensteuerebene in verbindungsprogrammierter Technik mit einem Baugruppensystem (z. B. ursalog 4000) ausgeführt. Für den Aufbau stehen bei den Baugruppensystemen universelle und problemorientierte Baugruppen zur Verfügung. Die AS entspricht der Variante b). Zur Ankopplung einer derartigen Steuerung an eine Automatisierungsanlage mit Datenbus muß eine Koppeleinrichtung KE benutzt werden, durch die die parallel anliegenden Signale aus der Steuerungsanlage in einen seriellen Datenverkehr umgewandelt werden. Durch zyklische Abfrage und Zwischenspeicherung der Signale aus der FGS und Vorverarbeitung für die Bereitstellung zur Übergabe an das Bedienpult erfolgt eine Anpassung der verdrahtungsprogrammierten Funktionsgruppensteuerung an den seriell arbeitenden Datenbus der Automatisierungsanlage. Damit ist es möglich, Anlagen aufzubauen, bei denen die Steuerung über verbindungsprogrammierte Einrichtungen erfolgt und die Anlageninformationen in Form von Rückmeldesignalen über speicherprogrammierbare Koppeleinrichtungen an die Automatisierungsanlage angepaßt werden. Die Bedienelemente werden parallel verdrahtet an die FGS angeschlossen. Die Bedienfunktionen können aber auch von dem Pult über die Datenbahn ausgelöst werden (Zentralbedienung). Durch die Busverbindung (serielle Datenübertragung) werden parallele Verbindungskabel von der FGS zum Steuerpult eingespart. Damit ist eine Vergrößerung der räumlichen Entfernung nicht nachteilig für die Kabelkosten, so daß die FGS und AS möglichst nahe an den Prozeß bzw. die Leistungsebene verlegt werden können. Die Verbindungen zwischen der FSG und der AS sind noch parallel verdrahtet. Eine räumliche Trennung ist demzufolge nicht zweckmäßig.

Mit den dargestellten Prinzipien kann die Steuerungsanlage in die gesamte Automatisierungsanlage eingebunden werden.

Zur Automatisierungsanlage gehören außerdem die Aufgaben der Meßwerterfassung und Regelungsaufgaben für den Prozeßablauf, und sie ist demzufolge in der Leitebene noch weiter

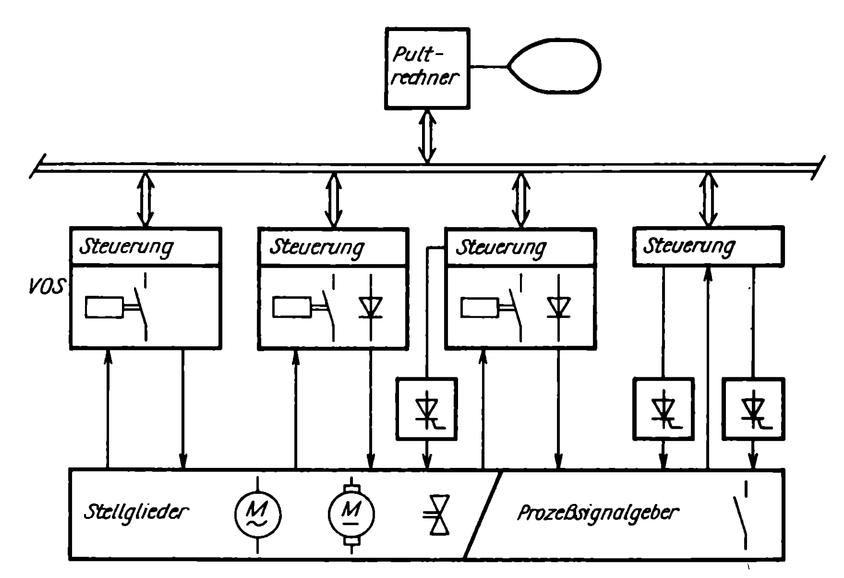


Bild 5.1.5. Prinzipanordnung einer Steuerungsanlage mit räumlicher Vereinigung von Signalverarbeitung und Leistungsteil

VOS Vor-Ort-Station

ausgebaut. Die Meßwerterfassung und -anzeige kann zu einem umfassenden Informationssystem erweitert und mit Bildschirmausgabe auf dem Steuerpult versehen werden. Derartige umfangreiche Anlagen sollen hier nicht weiter behandelt werden [5.4] [5.33] [5.18] [5.27] [5.16] [5.31]. Auf der Grundlage eines Informationssystems sind auch Lösungen für die Anlagendiagnose mit umfangreichen Fehlerdarstellungen möglich, die für die Anlagenwartung und Fehlererkennung von maßgeblicher Bedeutung sind. So können auf dem Bildschirm Programmablaufpläne mit den Fortschaltkriterien bei Ablaufsteuerungen dargestellt werden, womit im Fehlerfall eine schnelle Übersicht über fehlende Steuersignale erreicht wird.

Eine weitgehende Dezentralisierung gestattet ein Anlagenkonzept nach Bild 5.1.5. Hier ist die gesamte Steuerung in einer speicherprogrammierbaren Einrichtung untergebracht. Bei der Hardware ist keine Trennung zwischen der Antriebs- und Funktionsgruppensteuerebene vorhanden. Konstruktiv ist die Steuerung mit den Schaltgliedern (Schützen) zur Ansteuerung der Stellglieder (Motoren, Magnete usw.) in einem Gefäß vereinigt. Einordnungsfähig sind auch Stellglieder für Gleichstromantriebe, wobei der zur Verfügung stehende Raum die Leistung der Geräte begrenzt. Größere Leistungseinheiten sind in getrennten Gefäßen aufzustellen [5.14]. Diese Einrichtungen (Vor-Ort-Stationen) können über einen Datenbus miteinander und mit einem Bedienpult verbunden werden.

Die Wahl des Anlagenkonzepts ist eine entscheidende Aufgabe des Projektanten. Wie die Darstellungen zeigen, ist neben der Wahl von verbindungsprogrammierten und speicherprogrammierbaren Einrichtungen auch der Aufbau der Anlage von entscheidender Bedeutung für die

- Betriebszuverlässigkeit
- Zugriffsfähigkeit zu einzelnen Anlagenteilen
- Kosten
- Übersichtlichkeit
- Störungsanalyse.

Das Anlagenkonzept wird im wesentlichen von den Anforderungen des technologischen Prozesses bestimmt. Liegt z. B. ein technologischer Prozeß vor, der aus mehreren entkoppelten Teilprozessen besteht, für die teilweise Reserveaggregate vorhanden sind, die im Bedarfsfall zugeschaltet werden, so muß eine übersichtliche Anlagenstruktur gewählt werden, die den Bedingungen entspricht. Die Antriebe müssen einzeln steuerbar sein (Antriebssteuerebene), und die übergeordnete Steuerebene (Funktionsgruppensteuerebene) muß die prozeßabhängige Steuerung, das geordnete An- und Abfahren sowie die Auswahl und Umschaltung bei Störungen vornehmen.

Liegt dagegen ein Prozeß vor, der aus einer zusammenhängenden Kette von Antrieben besteht, so können diese Steuerungen in einer speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS) vereinigt werden. Bei Ausfall eines Antriebs ist ohnehin der gesamte Prozeßablauf gestört, so daß ein unabhängiger Betrieb eines Antriebs nicht notwendig ist. Es kommt also darauf an, daß zum Erreichen einer hohen Zuverlässigkeit möglichst wenig Bauelemente einbezogen sind, was durch eine gezielte Nutzung erreicht wird. Voraussetzung ist, daß der Zeitzyklus der SPS zur Bedienung der einzelnen Antriebe ausreicht, eine zusammenhängende Inbetriebsetzung möglich ist und ein unabhängiger Einzelbetrieb nicht verlangt wird (evtl. ist dieser über die Schaltanlage möglich). Für den Reparaturfall kann die Einzelsteuerung in der Schaltanlage oder durch eine besondere Simulationsschaltung am Ausgang der Steuerungsanlage realisiert werden.

Eine weitergehende Dezentralisierung gestattet der Anlagenaufbau nach Bild 5.1.6 [5.39] [5.18]. Das Konzept beinhaltet die Auflösung der Gesamtanlage in Stationen, die so angeordnet werden, daß ein optimales Kabelnetz von Busverbindungen entsteht. Die Stationen zur Erfassung der Meßwerte sind unmittelbar in Prozeßnähe gestellt, so daß die parallelen Verbindungen möglichst kurz sind. Die Informationen werden dann durch eine Datensteuerstation (DSS) der Informationsverarbeitung in der Funktionsgruppensteuerebene (FGS) zugeführt, die in einem besonderen Elektronikraum installiert ist. Über eine weitere Busverbindung sind die Einrichtungen der Informationsverarbeitung in der Funktionsgruppensteuerebene mit der Leitebene verbunden. Über diesen Bus werden Befehls- und Meldesignale ausgetauscht. Die Antriebssteuerebene ist abgesetzt von der FGS in Nähe der Schaltanlage. Die Signalübertragung geschieht ebenfalls

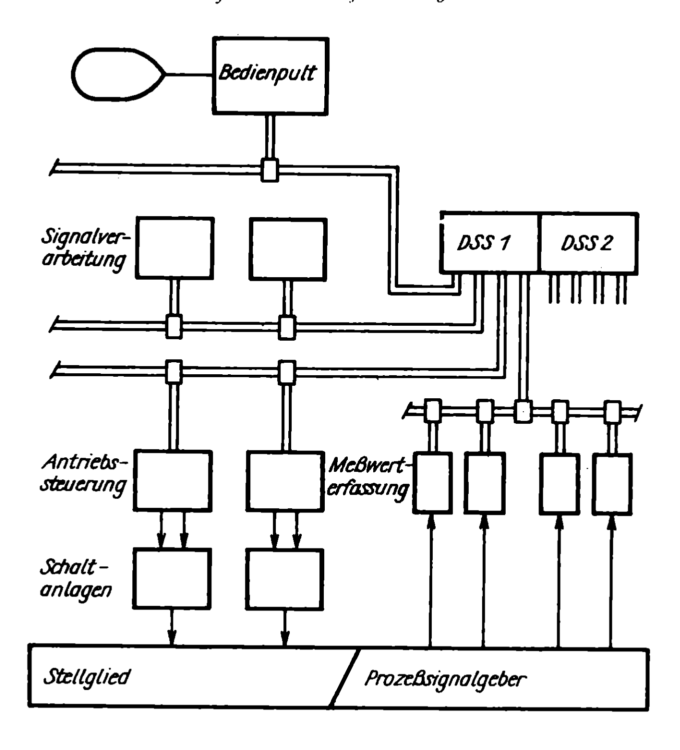


Bild 5.1.6. Prinzipanordnung einer Steuerungsanlage mit funktioneller Dezentralisierung

DSS Datensteuerstation

mittels Bus mit seriellem Datenverkehr. Der Bus kann redundant ausgeführt werden. so daß auch eine hohe Betriebszuverlässigkeit erreicht wird.

In [5.27] wird die Leitstruktur einer Automatisierungsanlage für eine Zementfabrik angegeben (Bild 5.1.7). Die Leitstruktur umfaßt neben der Anlage für die Prozeßsteuerung (*2, 3, 4, 5*) auch den zentralen Leitstand und ein Prozeßrechnersystem zur Prozeßkontrolle und für zentrale Funktionen.

Die Prozeßsteuerung ist gegliedert nach den Produktionsabschnitten und Funktionsgruppen. In der Funktionsgruppensteuerebene (hier als Gruppensteuerebene *1* und *2* bezeichnet) werden speicherprogrammierbare Steuerungseinrichtungen eingesetzt, die über einen seriellen Datenverkehr zwischen den Gruppenebenen und mit der Prozeßleitebene kommunizieren. Für die zugeordnete Antriebssteuerebene ist eine verdrahtungsprogrammierte Technik vorgesehen. Damit ist jeder Antrieb einzeln und unabhängig vom Betrieb der anderen Antriebe derselben Funktionsgruppe steuerbar. Der Antriebssteuerebene zugeordnet ist die Leistungsebene mit den Stellgliedern. Neben den Funktionsgruppen bestehen Einzelantriebe, die von einzelnen Steuerständen (Gruppenleitstelle) bedient werden.

Diese Struktur entspricht den grundsätzlichen Gesichtspunkten des hierarchischen Anlagenaufbaus und zeigt die Einordnung der Funktionsgruppensteuerung in die gesamte Automatisierungsanlage bei strenger Gliederung nach technologischen Abschnitten.

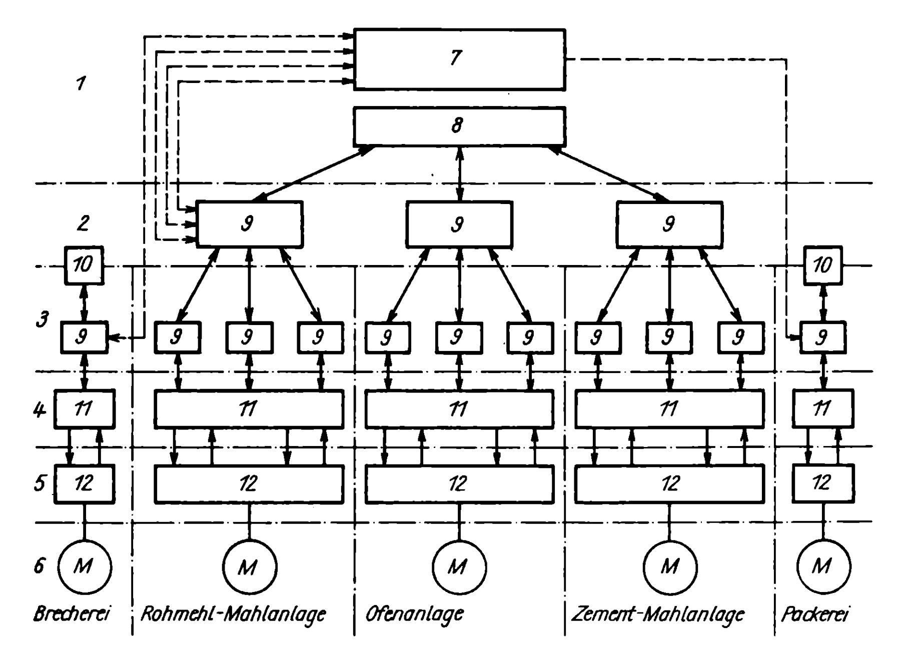


Bild 5.1.7. Prinzipanordnung einer Automatisierungsanlage mit Funktionsgruppensteuerung und Zentralleitstand für ein Zementwerk

1 Leitebene; *2* Gruppensteuerebene *2*; *3* Gruppensteuerebene *1*; *4* Antriebssteuerebene; *5* Leistungsebene; *6* Prozeßebene; *7* Prozeßrechnersystem; *8* zentraler Leitstand; *9* speicherprogrammierbare Steuerungen; *10* Leitstand für einen Prozeßabschnitt; *11* Antriebssteuerschaltung; *12* Schaltanlage

5.1.2. Konstruktion, Aufbau der Steuerungsanlagenteile

5.1.2.1. Allgemeine Übersicht

Bild 5.1.8 gibt eine Übersicht über die Erzeugnisse und deren Verbindung, die zum Aufbau einer Steuerungsanlage notwendig sind. Dazu gehören

— Gefäße mit Baugruppen zur Informationsverarbeitung
— zentrale Stromversorgungseinrichtungen
— Verteilungsfelder
— Steuerkästen für Ein-Richtungs- und Zwei-Richtungs-Antriebe
— Zwischenklemmkästen
— Steuerpulte und Wartenfelder.

5.1.2.2. Schränke und Gestelle zur Informationsverarbeitung [5.11]

Gestelle und Schränke werden in verschiedenen Ausführungen gefertigt. Sie unterscheiden sich nach Abmessungen, Schutzgrad, mit und ohne eigene Stromversorgungseinrichtungen und Einsatzklasse. Eine Vorzugsabmessung für Gestelle und Schränke in zentralisierten Anlagen ist im Rahmen des Einheitlichen Gefäßsystems (EGS) das Bauvolumen 1000 mm × 2000 mm × 400 mm ($b \times h \times t$). Die Gefäße dienen der Aufnahme von Baugruppen des Steuerungssystems (z. B. ursalog 4000/5010 oder ursalog 5020). Die Baugruppen werden in Baugruppeneinsätze (BGE)

eingeschoben. Zur Aufnahme der Baugruppeneinsätze im Gestell oder Schrank dient z. B. ein schwenkbarer EGS-Aufnahmerahmen. Dabei können Baugruppen unterschiedlicher Bauhöhe h eingesetzt werden:

ursalog 4000: BGE h = 240 mm (für Antriebssteuerungen)
BGE h = 120 mm (für Funktionsgruppensteuerungen)
ursalog 5010: BGE h = 240 mm
ursalog 5020: BGE h = 240 mm.

Die Auswahl richtet sich nach den technischen Forderungen. Die Baugruppen ursalog 4000/5010 können aufgrund der konstruktiven Kompatibilität in einen BGE eingeordnet werden. Für die Baugruppen ursatron 5000 ist ein getrennter BGE notwendig, wobei beide Systeme in einem Schrank eingesetzt werden können.

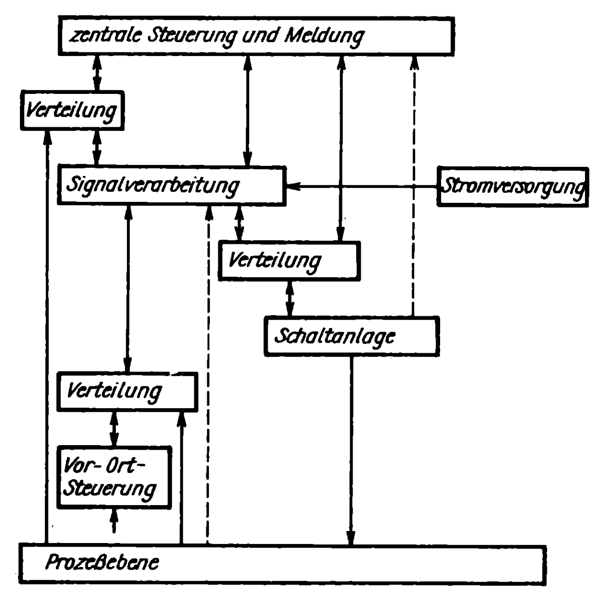


Bild 5.1.8
Aufbau einer Steuerungsanlage mit räumlich zentralisierter Signalverarbeitung

Bild 5.1.9 zeigt das Foto eines typisierten Gestells mit ursalog 4000 des VEB Elektroprojekt und Anlagenbau Berlin (EAB). Das Gestell ist mit Baugruppeneinsätzen einfacher und doppelter Höhe kombiniert bestückt. In den unteren Einsätzen sind die Sicherungsbaugruppen untergebracht. Darüber befinden sich die Baugruppen der Antriebssteuerebene, drei doppelt hohe Einsätze (h = 240 mm) mit Baugruppen der Höhe 120 mm kombiniert, so daß die Antriebsbaugruppen mit den zugehörigen Prozeßanpassungsbaugruppen in einem Einsatz untergebracht sind. Je nach Umfang der Antriebssteuerebene kann die Anzahl der doppelt hohen Einsätze variiert werden. Darüber sind die Baugruppen der Funktionsgruppensteuerebene angeordnet.

Auf der linken Seite des Gestells befindet sich das Anschlußfeld, das mit 44poligen Buchsenleisten ausgestattet ist. Die Prozeßleitungen werden mittels Steckverbinder aufgesteckt, womit alle Verbindungen zu den anderen Teilen der Anlage hergestellt werden. Am Buchsenfeld sind die für die Prüfung erforderlichen Leitungen als Stichleitungen zugänglich. Die Verbindung vom Anschlußfeld zur Anschlußebene der Einsätze erfolgt beidseitig durch Wickelverbindungen.

Die Steckverbinder im Anschlußfeld sind den Baugruppeneinsätzen auf bestimmten Plätzen zugeordnet. Die Belegung sollte nach einer festgelegten Systematik erfolgen; das erleichtert die Montage-, Inbetriebsetzungs-, Prüf- und Wartungsarbeiten.

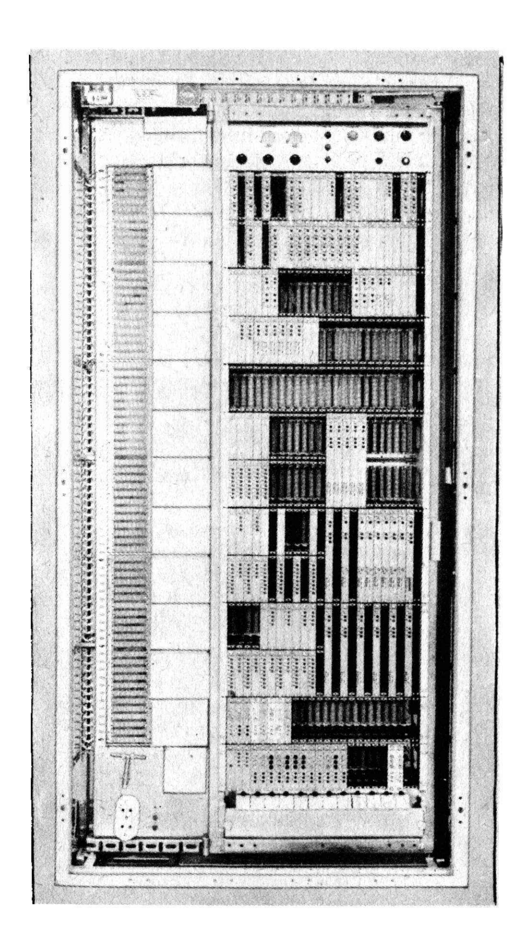


Bild 5.1.9
Gestell mit Baugruppen ursalog 4000
(Werkfoto: VEB Elektroprojekt und Anlagenbau Berlin)

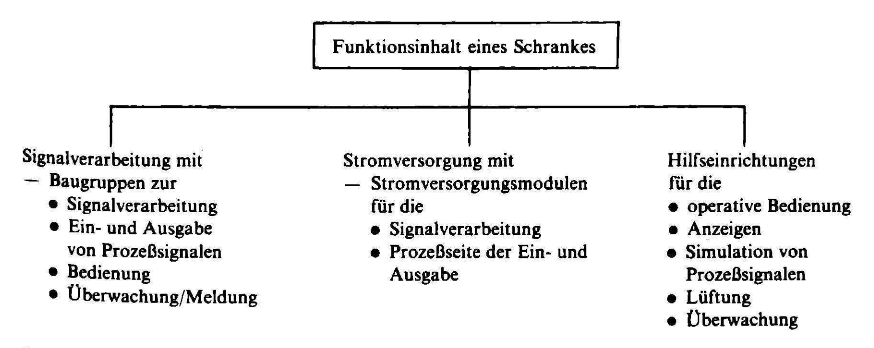


Bild 5.1.10. Übersicht zum Funktionsinhalt eines Schrankes mit speicherprogrammierbaren Einrichtungen

Im oberen Teil ist eine Bedienplatte mit Anzeigelampen und Buchsen zur Simulation, Störungsmeldung und Lampenprüfung vorhanden, die weitere Meßbuchsen und Kommunikationsanschlußpunkte enthält. Unten stehen Sicherungsautomaten für die Stromkreise zur Verfügung.

Die Baugruppenplätze und Steckverbinder des Anschlußfeldes sind durch Schilder markiert, so daß festgelegte und systematisierte Anlagenbezeichnungen die Zuordnung erleichtern.

Bei großen Anlagen (z. B. Kraftwerken) ist es notwendig, ein durchgehendes systematisch aufgebautes Bezeichnungssystem anzuwenden. Für Kraftwerke ist mit TGL 32217, Kraftwerke; Anlagenbezeichnung [5.50], das Anlagenbezeichnungssystem festgelegt worden, wodurch die Verständigung sehr erleichtert wird.

Einrichtung zur Signalverarbeitung
Einrichtung zur Signalverarbeitung (z. B. ursalog 5020)
Überwachung und Meldung (ursalog 4000)
Servicefeld
Stromversorgung
Stromversorgung
Prozeßanschlußfeld
Bedien- und Anzeigeteil
Netzeingangsteil

Bild 5.1.11. Konstruktiver Aufbau eines Schrankes zur Aufnahme speicherprogrammierbarer Einrichtungen

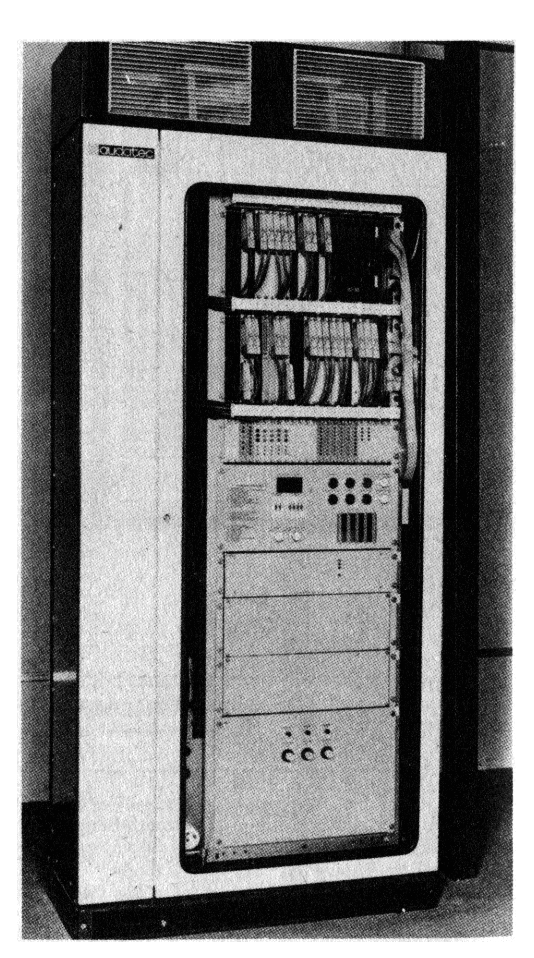


Bild 5.1.12. Schrank mit eingesetzten speicherprogrammierbaren Einrichtungen gemäß Bild 5.1.11

(Werkfoto: VEB Elektroprojekt und Anlagenbau Berlin)

Auf den unteren Plätzen kann bei Eigenversorgung für die Erzeugung der Betriebsspannung ein Netzgerät eingebaut werden. Die Einsatzklasse nach TGL 9200/03 ist bei Standarderzeugnissen

für offene Gestelle —10/+45/+25/85//2101
für Schränke mit dem Schutzgrad IP 43 —10/+45/+25/85//4101.

Dabei beträgt die zulässige Verlustleistung ohne zusätzliche Zwangsbelüftung

beim offenen Gestell (IP 00) 280 W,
beim Schrank (IP 43) 200 W.

Bei der Projektierung von Anlagen ist die durch die Strukturierung geschaffene Übersicht auch konstruktiv zu erhalten. Die zu einer Funktionsgruppe (technologischer Abschnitt) gehörenden Einrichtungen und Funktionseinheiten sind bei gleicher Technik möglichst in einem Schrank unterzubringen. Eine Vermaschung ist zu vermeiden, die Unterbringung mehrerer Funktionsgruppensteuerungen mit den dazugehörigen Antriebssteuerschaltungen ist zur Auslastung der Gefäßeinheiten nur geschlossen zu empfehlen. Eine Trennung der Antriebssteuerung und Funktionsgruppensteuerung in zwei Gefäße ist möglich und wurde auch vielfach angewandt. Die Vorteile einer derartigen Aufteilung bestehen in einem schnelleren Projektdurchlauf der Gefäße für die Antriebssteuerebene. Die Antriebssteuerebene kann ohne genaue Kenntnis der Funktions-

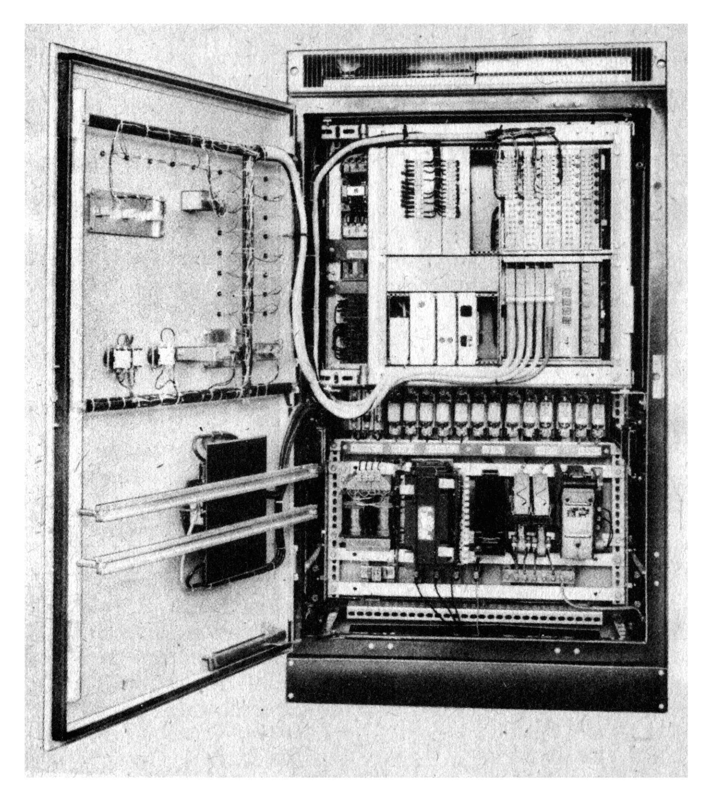


Bild 5.1.13. Geöffneter Schrank mit speicherprogrammierbaren Einrichtungen zur Signalverarbeitung und der zugehörigen Leistungsebene
(Werkfoto: VEB Elektroprojekt und Anlagenbau Berlin)

gruppensteuerebene anhand der bekannten Antriebsanzahl projektiert werden, die Gefäße können aufgebaut und unabhängig von den Funktionsgruppensteuerungen montiert werden. Bei vorgesehenen Rangierverteilern ist eine Montage bis zum Rangierverteiler möglich. Danach erfolgt die Lieferung der projektierten Funktionsgruppensteuerungen in getrennten Gefäßen, und der Anschluß an den Rangierverteiler wird systematisch hergestellt. Die Zuordnung der Antriebe geschieht über die Rangierung, d. h., die Verbindungen mit den zugehörigen Antrieben werden am Rangierverteiler als letzte Handlung nach endgültigem Projektabschluß hergestellt. Dieses Aufbauprinzip ist sehr änderungsfreundlich, die Antriebe können leicht erweitert und einer Funktionsgruppe zugeordnet werden. Der Nachteil liegt in einem höheren Montageaufwand zugunsten eines geringeren Projektvorlaufs. Die Entscheidung muß bei der Anlagenplanung getroffen werden. Einer funktionsgruppenorientierten Zusammenfassung der Steuerebenen ist der Vorzug zu geben.

Als Anwendungsbeispiel für die Aufnahme der Einrichtungen zur Informationsverarbeitung (z. B. ursalog 5020) wird in den Bildern 5.1.11 und 5.1.12 der Aufbau und die Ansicht eines Schrankes des VEB Elektroprojekt und Anlagenbau Berlin (EAB) gezeigt. Der Funktionsinhalt (Bild 5.1.10) ist auf verschiedene funktionelle Einheiten verteilt, die, in Baugruppeneinschüben eingeordnet, auf einem Schwenkrahmen montiert und im Bild 5.1.11 als Grundaufbau dargestellt sind.

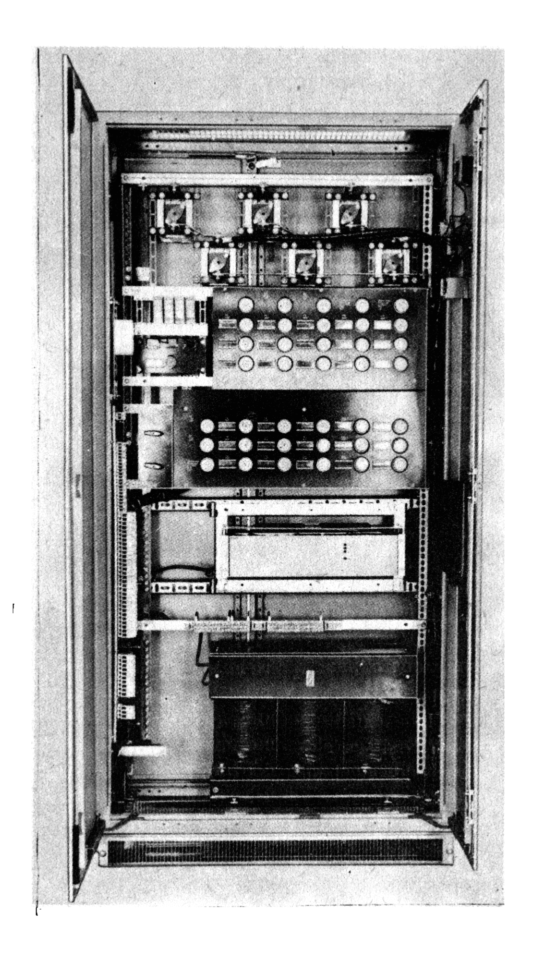


Bild 5.1.14
Geöffneter Stromversorgungsschrank

(Werkfoto: VEB Elektroprojekt und Anlagenbau Berlin)

Als Beispiel zeigt Bild 5.1.13 eine Vor-Ort-Station mit Elektronikteil zur Prozeßsteuerung und Leistungsteil zur Speisung der Stellglieder in einem Schrank. Die Einrichtungen zur Steuerung sind im oberen Teil des Schrankes untergebracht, unten befinden sich die Schaltglieder des Leistungsteils. Die Bedien- und Anzeigeelemente sind auf der Tür montiert und bei geschlossener Tür von außen zu bedienen. Der Schrank hat eine Zwangsbelüftung und kann bei einem Schutzgrad IP 54 in unmittelbarer Nähe der Maschine aufgestellt werden.

5.1.2.3. Stromversorgungsfelder

Geräte für eine dezentralisierte Stromversorgung sind im Abschnitt 4. beschrieben. Die Geräte werden in den Gefäßen mit der Informationsverarbeitung gemeinsam aufgebaut. Für eine zentrale Stromversorgung sind getrennte Stromversorgungsfelder notwendig. In den Stromversorgungsfeldern wird die angelegte Netzspannung in eine für die Steuerungsanlage notwendige Form umgewandelt. Die Stromversorgungsfelder (Gestelle oder Schränke) werden nach den Anforderungen der Steuerungsanlage projektabhängig aufgebaut und können z. B. eine der gewählten Gefäßgröße entsprechende Anzahl von serienmäßigen Netzgeräten enthalten.

Ein Stromversorgungsfeld für die Spannung 24 V GS zur Stromversorgung des Steuerungssystems ursalog 4000 zeigt Bild 5.1.14. Das Versorgungsfeld (Schrankvariante) hat die Hauptabmessungen 1000 mm × 2000 mm × 400 mm (EGS). Das Stromversorgungsfeld nach Bild 5.1.14 liefert 200 A bei 24 V GS und hat einen Primäranschluß von 3 ~ 380/220 V, +10%/−15%, 50 ... 60 Hz.

In dem Stromversorgungsfeld sind Umspanner, Gleichrichter mit Schutzschaltungen, Sicherungen für die einzelnen Versorgungsabgänge (z. B. 30 × 10 A beim 200-A-Versorgungsschrank), Überwachung und ein zusätzliches Netzgerät zur Realisierung von 48 V GS für eine besondere Kontaktabfrage untergebracht. Hinweis: Die Schaltungsvarianten zur Stromversorgung sind im Abschnitt 5.5. näher erläutert.

Um größere Spannungsabfälle zu vermeiden, sind Stromversorgungsfelder möglichst so zwischen den Gefäßen der Steuerungsanlage aufzustellen, daß der zulässige Spannungsabfall auf den Einspeiseleitungen nicht überschritten wird (s. Abschn. 5.5.).

Die Einsatzklasse beträgt nach TGL 9200 bei dem dargestellten Gefäß für Schutzgrad

IP 20 −10/+45/+25/85//2101,
IP 43 −10/+45/+25/85//4101.

5.1.2.4. Verteilerfelder

Das Verteilerfeld hat die Aufgabe, die auf der Schaltanlagen- oder Geberseite des Verteilers vorhandene feld- oder gerätemäßige Zusammenfassung der Signalleitungen in die für den Anschluß an die Gestelle oder Schränke der Informationsverarbeitung erforderliche funktionsgruppenorientierte Leitungszusammenfassung umzusetzen.

Der Verteiler kann für die Verteilung von Signalen von einer auf mehrere Leitungen oder für eine Rangierung eingesetzt werden. Beim Einsatz als Rangierverteiler werden die ankommenden und die abgehenden Leitungen reihenweise getrennt angeschlossen, d. h., die Anschlüsse werden auf der einen Seite des Verteilers nach den Anschlüssen der signalverarbeitenden Einrichtungen (Schränke) und auf der anderen Seite nach den anderen Anlagenteilen geordnet aufgelegt.

Bild 5.1.15 zeigt das Prinzip der Anordnung. Ein derartiger Verteiler hat den Vorteil, daß auf beiden Seiten eine eindeutige Systematik geschaffen wird, womit Leitungen ohne Rücksicht auf die später notwendige Verbindung verlegt und angeschlossen werden können. Danach erfolgt die Verbindung durch Rangierung. Der Einsatz von Rangierverteilern kann vom Projektanten aus verschiedenen Gründen vorgesehen werden. Vorzugsweise werden kleine Verteilereinheiten (Gestellgröße 1000 mm × 2000 mm × 400 mm) eingesetzt, um die Nachteile großer zentraler Rangierverteiler zu vermeiden. Für die Entscheidung über den Einsatz sind Kosten, Arbeitsaufwand sowie der Projektablauf maßgebend.

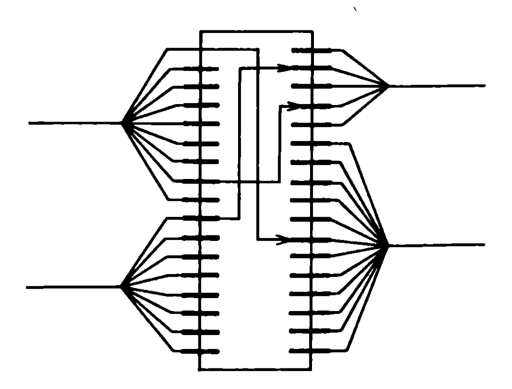


Bild 5.1.15. Prinzip der Rangieranordnung

Das Verteilergestell nach Bild 5.1.16 ist ein offenes Gestell. Der fest eingebaute Rahmen enthält

- 35 Wickelverteiler E 24 × 7 (7 Zeilen, 5 Spalten)
- Buchsenplatten für den Anschluß an eine Kommunikationsanlage, Meßbuchsen
- Netzplatte mit Netzanschlußmöglichkeit.

Die Einsatzklasse beträgt bei Schutzgrad IP 00 −10/+45/+25/85//2101 nach TGL 9200.

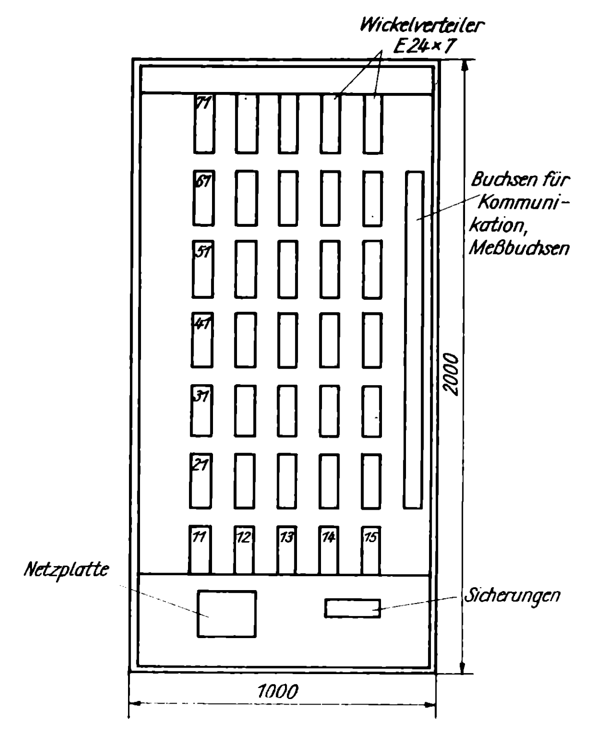


Bild 5.1.16. Aufbau des Verteilerfeldes

5.1.2.5. Steuerkästen

Steuerkästen dienen der Steuerung von Antrieben von „vor Ort", die bei der Prozeßsteuerung aus verschiedenen Gründen notwendig sein kann. Gründe zur Betätigung des Antriebs mit direkter Sicht von Hand können sein

- Reparaturfall
  Einzelbedienung ohne Automatik bei besonderen technologischen Bedingungen
- keine zentrale Bedienung oder übergeordnete Automatik vorhanden.

Nach den Bedingungen, die für die Bedienung gestellt sind, erfolgt die Auslegung der Steuerkästen. Sie sind vom Reparaturschaltkasten mit den für einen Antrieb notwendigen Betätigungselementen (Stößeltaster) bis zu Steuertafeln mit Stellungsanzeigen und anderen Informationsinstrumenten zur Erlangung der notwendigen Übersicht über den technologischen Prozeßabschnitt aufrüstbar.

Der Reparaturschaltkasten ist in der Standardausführung mit Stößeltastern und Knopf-, Verriegelungs- und Schlüsseltastvorsätzen in verschiedenen Kombinationen ausgerüstet [5.53]. Für spezielle Ausführungen der Prozeßsteuerung sind die Kästen besonders zu bestücken. Bei ausgedehnten Anlagen werden Anschlüsse an ein Kommunikationsnetz vorgesehen, die Signalspannung für Testzwecke wird an Buchsen zur Verfügung gestellt. Die Kästen sind entsprechend

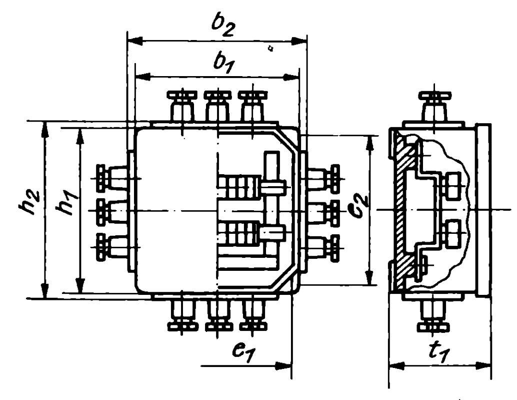


Bild 5.1.17. Klemmenkästen gemäß TGL 24964 des VEB Schiffsarmaturen- und Leuchtenbau Finow

Kennzahl der Kasten-größe	b_1 ±1	b_2 ±2	h_1 ±1	h_2 ±2	e_1 ±0,5	e_2 ±0,5	IP 54 t_1 ±3	IP 56 t_2 ±3	Äußerer Schutzleiter-anschluß	Befestigungs-anordnung IP 54	Befestigungs-anordnung IP 56
21	180	198	130	148	160	110	106	114	M 6	2 Schlitze, diagonal angeordnet für Schrauben M 6	2 Schlitze, diagonal angeordnet für Schrauben M 6
22	180	198	180	198	160	160	106	114	M 8		
32	260	278	180	198	240	160	128	136	M 8	2 Schlitze, diagonal angeordnet für Schrauben M 8	4 Schlitze für Schrauben M 8
33	260	278	260	278	240	240	128	136	M 10		
44	360	378	360	378	340	340	164	172	M 10	4 Schlitze für Schrauben M 8	

dem Schutzgrad und der Einsatzklasse zu montieren. Der Reparaturschaltkasten des Finower Standard-Kastensystems (FSK) nach TGL 24964 hat bei einem Schutzgrad IP 56 die Einsatzklasse —40/+55/+30/90//4112 (gemäß TGL 9200) [5.53].

5.1.2.6. Zwischenklemmkästen

Klemmkästen werden in unterschiedlicher Größe für die Verzweigung von Leitungen eingesetzt. Sie können mit Klemmen ausgebaut werden oder zur Aufnahme anderer Verbindungselemente (z. B. Quetschhülsen) dienen.

Eine Übersicht über die z. B. im Rahmen des Finower Standard-Kastensystems zur Verfügung stehenden Abmessungen zeigt Bild 5.1.17. Die Einsatzklasse dieser Kästen beträgt beim Schutzgrad IP 56 gemäß TGL 9200 —25/+55/+30/90//4112. Die Gehäuse entsprechen TGL 24964 bzw. TGL 29329.

5.1.2.7. Pulte

Für die Bedienung von Prozeßabschnitten mit optischer Einsicht und bei zentral gesteuerten Anlagen werden Pulte verwendet, die den Erfordernissen angepaßt konstruiert werden. Sie dienen zur Unterbringung der Bedienungselemente und Anzeigen für Schaltstellungen. Die konstruktive Ausführung ist den räumlichen Bedingungen und der Ausführung des Steuerstandes oder der Schaltwarte anzupassen. Die Bilder 5.1.18 und 5.1.19 zeigen Pulte mit direkter Einsicht in den Prozeßablauf und Pulte in einer zentralen Warte. Die Pulte entsprechen einer konventionellen Ausführung mit Bedienelementen, wie Tastern, Paketschaltern und Steuerschaltern. Bei der zentralen Steuerung sind die Pulte in einer Warte angeordnet. Die direkte Prozeßübersicht fehlt, die Übersicht zum Prozeßablauf wird durch ein technologisches Schema mit Einordnung von Meß-



Bild 5.1.18. Pult für die Steuerung eines Abschnitts einer Walzstraße

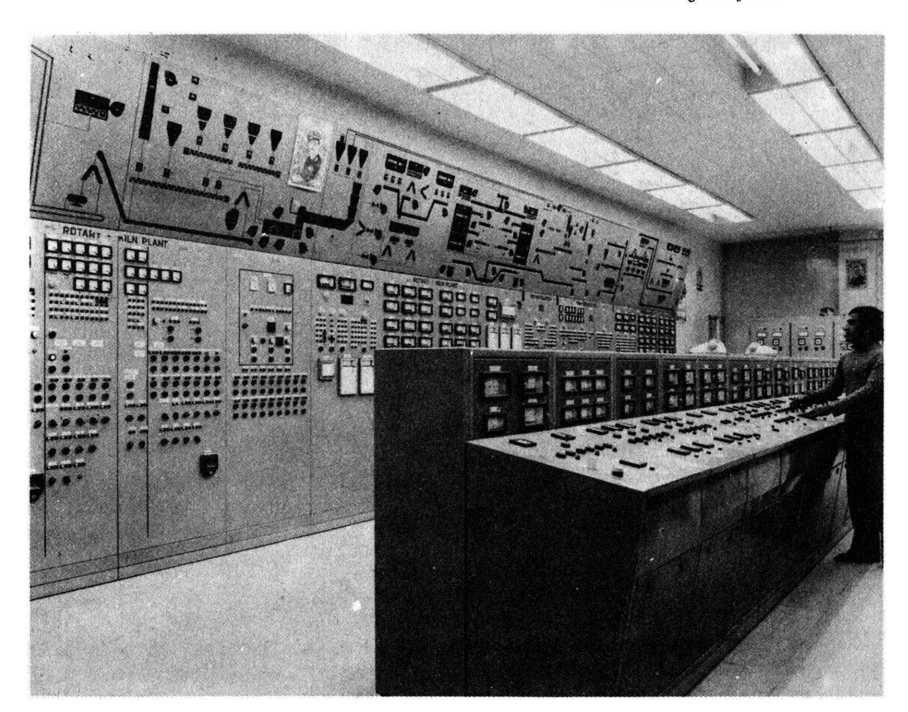


Bild 5.1.19. Pult für die Steuerung in einem Zementwerk

geräten zur Erfassung der technologischen Werte geschaffen. Die Pulte mit den Bedienelementen sind so anzuordnen, daß bei der Bedienung eine Beobachtung der zugehörigen Instrumente und Rückmeldungen aus dem technologischen Prozeß möglich sind. Wie Bild 5.1.19 zeigt, werden auch Beistellpulte und Pultaufsätze zur Aufnahme von Meßinstrumenten benutzt. Auf dem Bedienpult und Wartenfeld ist die Bedienung und Anzeige der Prozeßsteuerung in die der gesamten Automatisierungsanlage nach Prozeßabschnitten integriert.

Mit der Einführung der Bildschirmtechnik bei der Wartengestaltung ergeben sich neue Pultformen und andere Bedienungsstrategien. Die für jeden Antrieb parallel installierten Bedienelemente können durch eine seriell bedienbare Tastatur ersetzt werden. Die Darstellung des Schaltzustands erfolgt auf dem Bildschirm durch unterschiedliche Darstellungsformen (s. dazu Abschn. 5.4.) [5.42].

Die über das Bedienpult durchgeführte Prozeßkommunikation wird im wesentlichen durch folgende Merkmale bestimmt:

- Informationsanwahl durch Bedientastatur
- Informationsdarstellung mit quasigrafischen Farbmonitoren
- Prozeßbedienung (Dialog) über Bedientastatur.

Als zentrale Steuereinheit des Bedienpults dient dabei ein Mikrorechner, der über einen seriellen Bus mit anderen Funktionseinheiten gekoppelt ist. Dieser Pultsteuerrechner erfüllt dann folgende Aufgaben:

- Aufbau und Aktualisierung der Bilddarstellungen und Ansteuerung des Monitors
- Auswertung der Bedieneingriffe über die Tastatur
- Durchführung des Informationsaustausches mit anderen Funktionseinheiten bei Bildaktualisierung und Prozeßeingriffen
- Protokollausgaben über Seriendrucker.

Der Einsatz derartiger Pulte ist an die Anlagenstrukturen gemäß Bild 5.1.5 gebunden, womit eine Automatisierungsanlage mit allen Komponenten gesteuert und überwacht wird. Der Aufbau erfolgt auf der Grundlage typisierter Einheiten nach den Erfordernissen der Anzahl der Bedienplätze.

5.2. Antriebssteuerebene

5.2.1. Ankopplung an die Prozeßebene

Für die Ankopplung der Steuerungsanlage an die Prozeßebene ergeben sich zwei Schnittstellen. Die Schnittstellen sind auf der Seite der Informationsgewinnung und der -nutzung (Stellbefehlsausgabe) vorhanden. Während bei Relaissteuerungen die Kontakte zur Informationsgewinnung in die logische Verknüpfung einbezogen werden und die Funktion der Steuerung durch die Verdrahtung der Kontakte hergestellt wird, ist bei den vollelektronischen Steuerungssystemen eine Pegelanpassung oder Kontaktbelastung notwendig, was zu besonderen Baugruppen geführt hat. Noch deutlicher wird die Trennung zwischen Informationsverarbeitung und Prozeßanpassung bei speicherprogrammierbaren Steuerungssystemen, wo die Baugruppen zur Prozeßkopplung den wesentlichen Anteil bestimmen. Die Baugruppen sind im Abschnitt 4. ausführlich beschrieben. Bild 5.2.1 verdeutlicht die Aufwandsveränderung durch den Einsatz von elektronischen Steuerungssystemen.

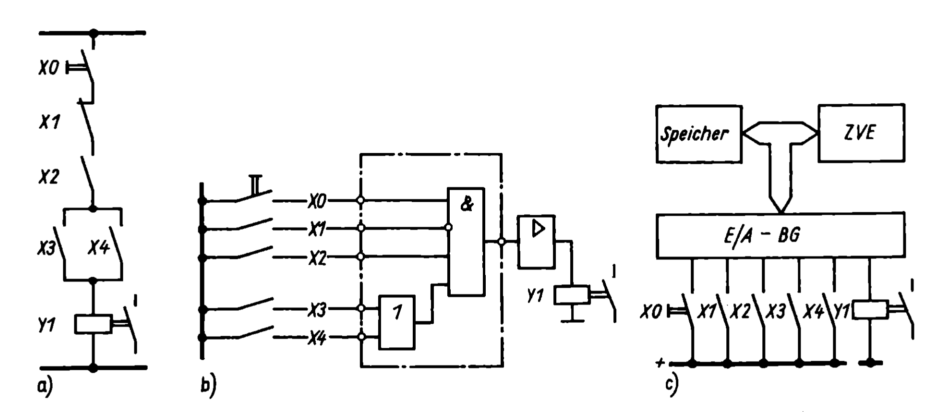


Bild 5.2.1. Prinziplösung einer Steuerungsaufgabe mit Relais und elektronischen Einrichtungen

Aufgabe: $X0 \wedge \bar{X1} \wedge X2 \wedge (X3 \vee X4) = Y1$

1. Abfrage: $X0$; $X1$; $X2$; $X3$; $X4$
2. Rechnung: $X0 \wedge \bar{X1} = X01$
   $X01 \wedge X2 = X012$
   $X3 \vee X4 = X34$
   $X012 \wedge X34 = Y1$
3. Ausgabe: $Y1$

a) Relaislösung; b) elektronische Lösung; c) Rechnerlösung; *ZVE* Zentrale Verarbeitungseinheit; *E/A-BG* Eingabe-/Ausgabebaugruppe

5.2.1.1. Informationsgewinnung

Die Informationsgewinnung erfolgt mit passiven (z. B. Kontakten) und aktiven Gebern (z. B. Spannungsimpulse vom Drehzahlgeber). In der Steuerungsanlage müssen entsprechende Eingangs-

schaltungen vorhanden sein. Für die Informationsverarbeitung muß die Systemspannung hergestellt und die erforderliche Sicherheit der Informationsübertragung gewährleistet werden. Das Signal ist zu entstören, die Übertragungswege sind evtl. zu überwachen, Frequenzen sind zu verändern, dynamische Signale (z. B. Nulldurchgänge) sind zu erfassen.

Die Kontaktabfrage erfolgt allgemein mit der Systemspannung, die als Arbeitsspannung notwendig ist. Bei Steuerungssystemen wie ursalog 4000 beträgt die Systemspannung 24 V, die sich für Prozeßsteuerungen durchgesetzt hat. Die Stromkreisbildung ist entsprechend der Zuordnung der Kontakte zu den Antriebssteuerbaugruppen oder der Steuereinrichtung zu wählen. An den Kontakt wird „Plus" gelegt, die Rückleitung erfolgt über eine Eingangsbaugruppe, die den Stromkreis mit einem Grundwert (bei ursalog 4000 10 mA) belastet. Bild 5.2.2 zeigt eine Schaltung zur Kontaktbelastung mit der Umschaltmöglichkeit für verschiedene Eingangsspannungen und

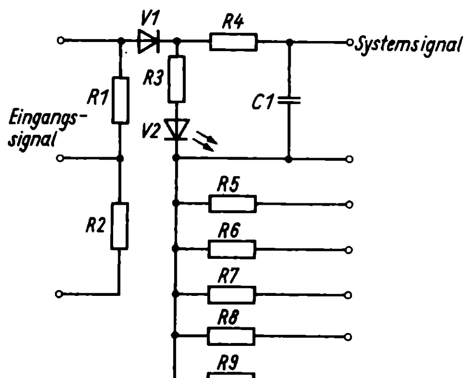


Bild 5.2.2
Schaltungsanordnung zur Pegelanpassung mit Kontaktbelastung

Kontaktbelastungen. Zur Kontaktabfrage können die Spannungen +24 V, +48 V, +60 V und ±24 V benutzt werden. Entsprechend ist der Eingang zu beschalten [5.19]. Das Vorhandensein eines Eingangssignals wird durch eine lichtemittierende Diode (LED) angezeigt. Durch zusätzliche Widerstände kann die Kontaktbelastung im Bedarfsfall erhöht werden. Die Höhe des Kontaktbelastungsstroms ist von dem verwendeten Kontakt abhängig. Zum Erreichen einer geringen Verlustleistung ist 24 V, 10 mA oder weniger anzustreben. Verschiedene speicherprogrammierbare Steuerungssysteme verfügen auch über Prozeßanpassungsbaugruppen für 220 V WS und GS. Der Einsatz ist vorrangig für Maschinensteuerungen und andere Steuerungen geringen Umfangs vorzusehen, wo der direkte Anschluß an das Versorgungsnetz genutzt wird.

Die gebräuchlichsten Kontakte zur Informationsgewinnung sind

- Hilfskontakte von Schützen und Leistungsschaltern
- Industrietaster
- Relaiskontakte
- Mikroschalter
- Endschalter
- Kopierwerkschalter
- Nockenschalter
- Kontakteinrichtungen an Manometern oder Thermometern
- Schwimmerschalter
- Kontakte an Durchflußmessern
- Druckschalter
- Füllstandsschalter
- Strömungsschalter

5.2.2. Antriebssteuerung

Zum Betreiben des technologischen Prozesses sind verschiedene Antriebslösungen notwendig, die den Forderungen des Prozeßablaufs entsprechen müssen. Die Auswahl des Antriebs mit seinen Parametern [5.29] [5.30] und Betriebsarten richtet sich nach den Anforderungen der Arbeitsmaschine. Am häufigsten sind in Prozeßsteuerungen Drehstrom-Asynchronmotoren eingesetzt, die in verschiedenen Betriebsarten betrieben werden. Die prinzipiellen Schaltungsvarianten sind (Bild 5.2.6)

- Ein-Richtungs-Antrieb (mit direktem Anlauf)
- Zwei-Richtungs-Antrieb (mit direktem Anlauf)
- Ein-Richtungs-Antrieb mit Anlaßstufen (Schleifringläufer).

Hierzu kommen Bremseinrichtungen, wie

- mechanische Bremse
- Gegenstrombremsung
- Gleichstrombremsung,

sowie

- Magnetantriebe
- Gleichstromantriebe mit Drehzahlregelung
- Drehstromantriebe mit Frequenzregelung zur Drehzahlstellung.

Die Energiezuführung erfolgt über Schaltanlagen, die zusammengefaßt die Leistungsebene bilden [5.38]. Die Schaltanlage enthält den Leistungsschalter, die Schutzeinrichtungen und das Ansteuerrelais für die Betätigung des Leistungsschalters. Der Umfang der Steuerungsanlage für die Betätigung ist von der Strukturierung der Steuerungsanlage abhängig. Ohne Einbindung in die Auto-

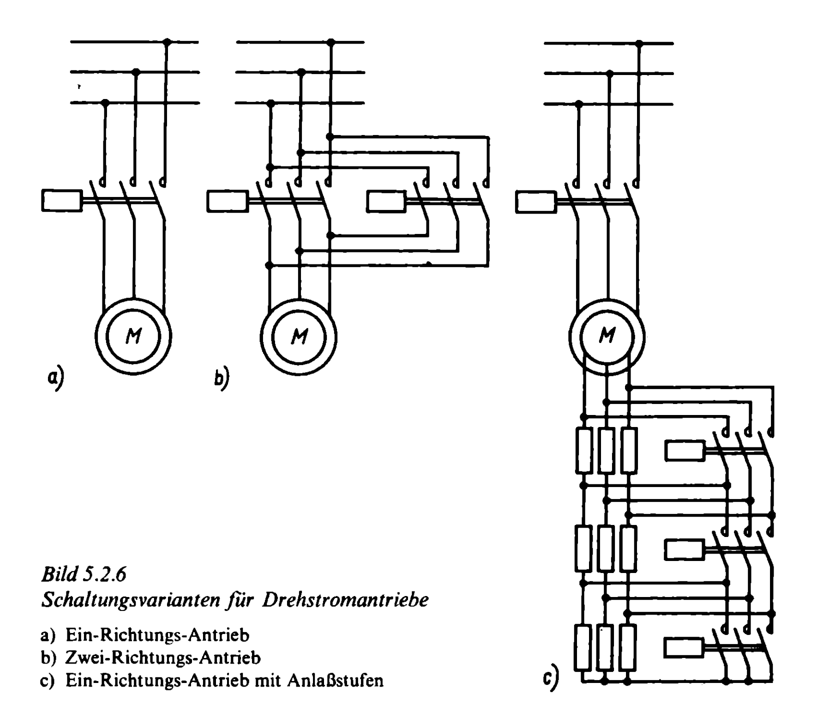


Bild 5.2.6
Schaltungsvarianten für Drehstromantriebe

a) Ein-Richtungs-Antrieb
b) Zwei-Richtungs-Antrieb
c) Ein-Richtungs-Antrieb mit Anlaßstufen

matisierungsanlage ist die Leistungsebene direkt über Taster zu betätigen. Im Rahmen von Prozeßsteuerungen ist der Leistungsebene eine Antriebssteuerebene übergeordnet, in der die Antriebssteuerschaltungen zusammengefaßt werden. Die Antriebssteuerung realisiert folgenden Funktionsumfang:

- Ansteuerung durch Hand- bzw. Automatikbetrieb oder durch Vor-Ort-Steuerung
- Verriegelung der Ein- und Ausschaltung, getrennt für beide Laufrichtungen
- Schutzauslösung
- Ausgabe der Steuerbefehle
- Betätigung der Bremseinrichtungen
- Überwachung der Anlaufzeit
- Schaltung der Anlaßstufen bei Drehstrom-Schleifringläufermotoren
- Reversiersperre für beide Laufrichtungen (zeitprogrammierbar)
- Blockierung des Ausgangsbefehls im Störungsfall und Abgabe einer Störungsmeldung
- Anzeige der Zustände des Antriebs.

Für die Ansteuerung der Leistungsebene ist zwischen dynamischer und statischer Ansteuerung zu unterscheiden (Bilder 5.2.7 und 5.2.8). Bei der dynamischen Ansteuerung wird der Befehl in der Leistungsebene durch Selbsthaltung gespeichert.

Vorteil: Bei Spannungsausfall der Steuerebene, Störung der Elektronik oder Drahtbruch bleibt die Schaltanlage eingeschaltet. Die Elektronikbaugruppe kann während des Betriebes ausgewechselt werden.

Nachteil: Bei den genannten Störungen ist der Antrieb nicht schaltfähig, und es ist eine zusätzliche Ausschaltmöglichkeit in der Schaltanlage vorzusehen.

Bei einer statischen Ansteuerung erfolgt bei Spannungsausfall und anderen Störungen eine Abschaltung der Schaltanlage, d. h., die Anlage wird beim Auftreten einer Störung immer in den

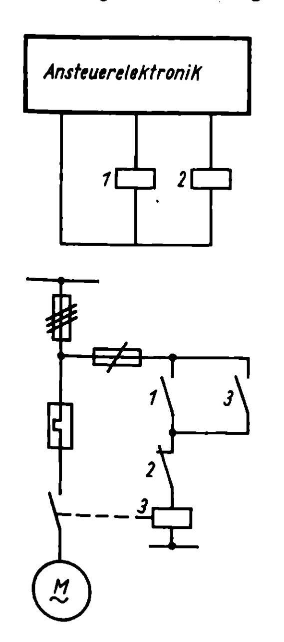


Bild 5.2.7. Ansteuerung der Schaltanlage mit dynamischem Signal

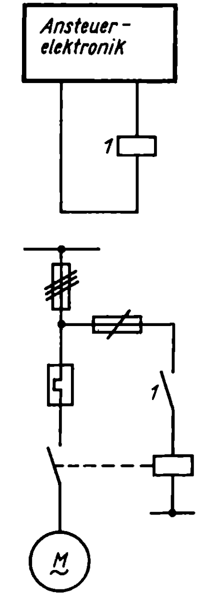


Bild 5.2.8. Ansteuerung der Schaltanlage mit statischem Signal

Ruhezustand geführt. Die Wahl ist problemabhängig zu treffen. Dabei ist von der Fragestellung auszugehen,

— ob der Prozeß bei Störung der Elektronik oder Hilfsenergiequelle weiterlaufen soll (Erhöhung der Verfügbarkeit der Gesamtanlage) oder
— ob die Sicherheit der elektrotechnischen Anlage und deren Schaltfähigkeit im Vordergrund steht (wobei eine Störung der Gesamtanlage, z. B. Abschalten eines Prozeßabschnitts, in Kauf genommen wird). Die elektrotechnische Anlage wird bei einer Störung immer in den Ruhezustand geführt.

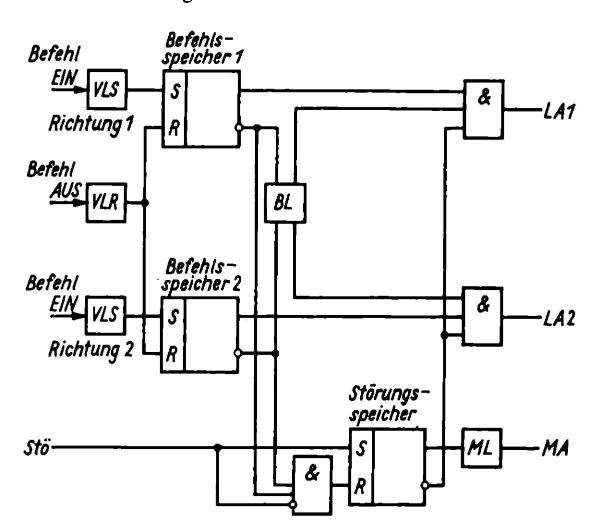


Bild 5.2.9
Logisches Grundprinzip der Antriebssteuerschaltung für einen Zwei-Richtungs-Antrieb
VLS Verriegelungslogik setzen; *VLR* Verriegelungslogik löschen; *BL* Blockierungslogik; *ML* Meldelogik; *LA1* Lastausgang für Richtung *1*; *LA2* Lastausgang für Richtung *2*; *MA* Meldeausgang; *Stö* Störung

Bild 5.2.9 zeigt das logische Grundprinzip der Antriebssteuerschaltung für einen Zwei-Richtungs-Antrieb mit statischer Signalabgabe [5.2]. Über eine Verriegelungslogik *VLS* wird mit dem EIN-Befehl der Befehlsspeicher für die gewählte Antriebsrichtung gesetzt, womit der Lastausgang *LA* durchgeschaltet wird. Voraussetzung ist, daß keine Störung anliegt und die Blockierungslogik (*BL*) keine Sperrung verursacht. Mit dem Befehl AUS wird der Antrieb über die Verriegelungslogik *VLR* ausgeschaltet. Auftretende Störungen werden im Störungsspeicher gesammelt und als Meldung ausgegeben.

Die Antriebssteuerebene verarbeitet bei den verschiedenen Baugruppensystemen allgemein folgende Signale [5.17] [5.40]:

- Antrieb EIN
- Freigabe EIN
- Antrieb AUS
- Freigabe AUS
- Schutzsignale und Rückmeldungen.

Signale EIN/AUS werden konjunktiv verknüpft mit einer Freigabe, worüber die Verriegelungen aufzubauen sind.

Neben der Hand- bzw. Automatiksteuerung mit Verriegelung über Freigabe sind direkte Signaleingänge zur Vor-Ort-Steuerung und für Schutzsignale vorhanden. Dabei gilt, daß alle AUS-Befehle den Vorrang vor EIN-Befehlen haben. Bei gleichzeitig anstehenden Befehlen hat der AUS-Befehl die höhere Priorität. Schutzbefehle haben Vorrang vor allen anderen Befehlen. Handeingabe geht vor Automatik.

Zum Aufbau einer Funktionseinheit „Antriebssteuerung“ für einen kompletten Ein-Richtungs-Antrieb sind mit ursalog 4000 z. B. die Baugruppen

- Eingangsbaugruppe (Typ-Nr. 2701)
- Antriebsbaugruppe (Typ-Nr. 2743)
- Ausgangsbaugruppe (Typ-Nr. 2736)

notwendig. Eine mögliche Lösung wird im folgenden beschrieben (Logikplan gemäß Bild 5.2.10).

Die von der Funktionsgruppensteuerebene gelieferten EIN-Befehle werden im Befehlsspeicher gespeichert, sofern die Freigabe FR EIN vorliegt und die Verriegelung für Vor-Ort-Steuerung aufgehoben ist. Wenn keine Störung vorhanden ist, d. h. der Störungsspeicher nicht gesetzt ist, wird der gespeicherte EIN-Befehl über einen Leistungsverstärker an die Leistungsebene (Koppelrelais) ausgegeben. Der AUS-Befehl löscht dominierend den Befehlsspeicher, sofern die FR AUS vorliegt und die Vor-Ort-Steuerung nicht eingeschaltet ist. Damit wird der Antrieb abgeschaltet.

Die Rückmeldesignale über den Schaltzustand werden durch Hilfskontakte in der Leistungsschaltebene gebildet und an die Funktionseinheit als Meldesignale EIN und AUS geführt. Zur Vermeidung von Störungsauslösungen bei Netzumschaltungen wird das Rückmeldesignal 3 bis 10 s lang aufrechterhalten.

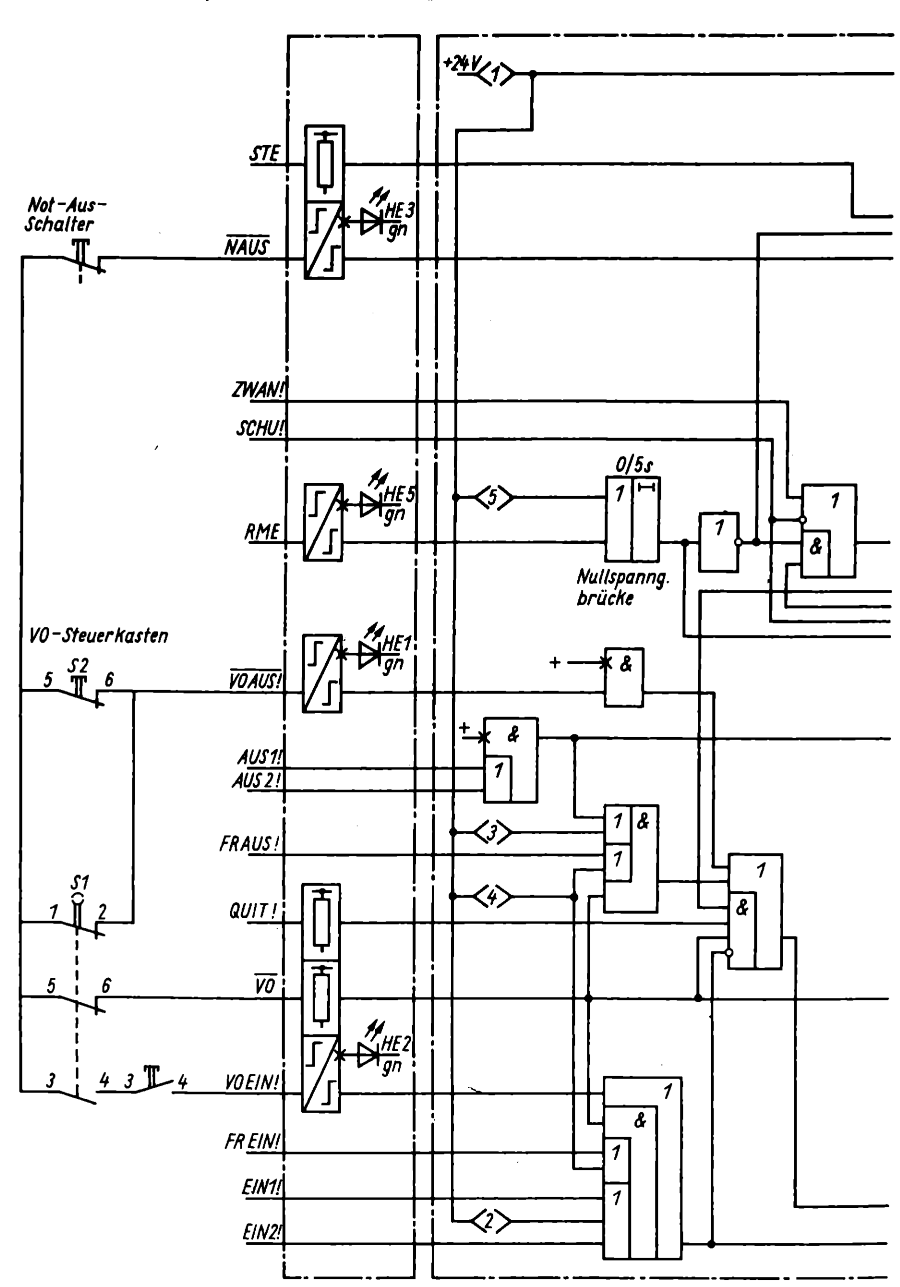
Zur Störungserfassung wird der gespeicherte EIN-Befehl mit der Rückmeldung EIN verglichen. Bei Nichtübereinstimmung, z. B. wenn 0,5 s nach Einschalten des Antriebs keine Rückmeldung vorliegt, wird der Störungsspeicher gesetzt und der Antrieb durch Blockieren des Ausgangsbefehls abgeschaltet. Der Störungsspeicher wird auch gesetzt, wenn die Rückmeldung länger als die eingestellte Nullspannungsbrücke unterbrochen wird oder Schutzauslösung SCHU bzw. Zwangsabschaltung ZWAN vorliegt. Die Störungsmeldung erfolgt an einem Ausgang STÖ und wird mit Blinklicht auf der Baugruppe angezeigt. Bei Quittierung werden der Befehlsspeicher und der Störungsspeicher zurückgesetzt und die Störungsmeldung aufgehoben. Liegt die Störung noch an, geht das Blinksignal in ein Dauersignal über. Wird versucht, den gestörten Antrieb einzuschalten, wiederholt sich die Störungsmeldung.

Bei Vor-Ort-Steuerung (Reparaturbetrieb) wird durch Umschalten am Steuerkasten über den Verriegelungseingang VO mit 0-Signal die zentrale Steuerung abgeschaltet. Dadurch ist eine Betätigung des Antriebs vom Steuerkasten aus möglich. Dieser Zustand wird durch Dauersignal an der Baugruppe angezeigt und nach außen gemeldet. Für die Dauer des VO-Betriebes ist die Störungsmeldung blockiert.

Mittels Simulationsstecker können die Signale „Freigabe", „EIN", „AUS" und „Rückmeldung EIN" simuliert werden. Die Simulation ist durch besonderen Stecker freizugeben, der Zustand „Simulation" wird angezeigt.

Bild 5.2.11 zeigt die prinzipielle Ansteuerung eines Antriebs für gemischten Betrieb durch Prozeßsteuerung und Fernbedienung. Der Antrieb kann sowohl durch Handbedienung (Fernbedienung) als auch durch Signale von Prozeßsignalgebern (Automatik) gesteuert werden. Die Betriebsart wird durch Umschaltung AUTOMATIK gewählt, dabei werden über UND-Verknüpfung der EIN- und AUS-Befehl freigegeben. Bei einer Abschaltung der Automatik werden die Taster für die Fernbedienung wirksam, und der Quittiereingang der Antriebsbaugruppe wird über eine monostabile Kippstufe mit einem Impuls belegt, womit die Quittierung einer anliegenden Störung vollzogen wird. Eine Störung wird für jede Betriebsart getrennt gemeldet.

Beim Einsatz eines Asynchronmotors mit Schleifringläufer wird der Steuerungsablauf durch das Schalten der Widerstandsstufen und eine eventuelle Bremsschaltung erweitert. Den Steuerungsablauf für die Einschaltung zeigt Bild 5.2.12 und für die Ausschaltung Bild 5.2.13. Die im Abschnitt 4. angegebenen Antriebsbaugruppen müssen durch zusätzliche Funktionen erweitert werden. Zur ökonomischen Lösung sind problemorientierte Baugruppen notwendig. Für derartige Problemstellungen ist auch eine speicherprogrammierbare Baugruppe (z. B. ursalog 5010) zweckmäßig einsetzbar. Sie gestattet durch die Speicherprogrammierbarkeit die funktionelle Anpaßbarkeit an die erweiterte Aufgabenstellung. Die gesamte Antriebsschaltung mit Baugruppen usalog 4000 und 5010 zeigt Bild 5.2.14. Für die Anpassung der Prozeßsignale sind Baugruppen von ursalog 4000 verwendet. Die Schaltung der Widerstandsstufen für den Anlaßvorgang kann nach programmierbaren Zeitstufen erfolgen oder frequenzabhängig von der Läuferfrequenz ausgeführt werden. Die Läuferfrequenzerfassung ist im Abschnitt 5.2.1. beschrieben. Bei der läufer-



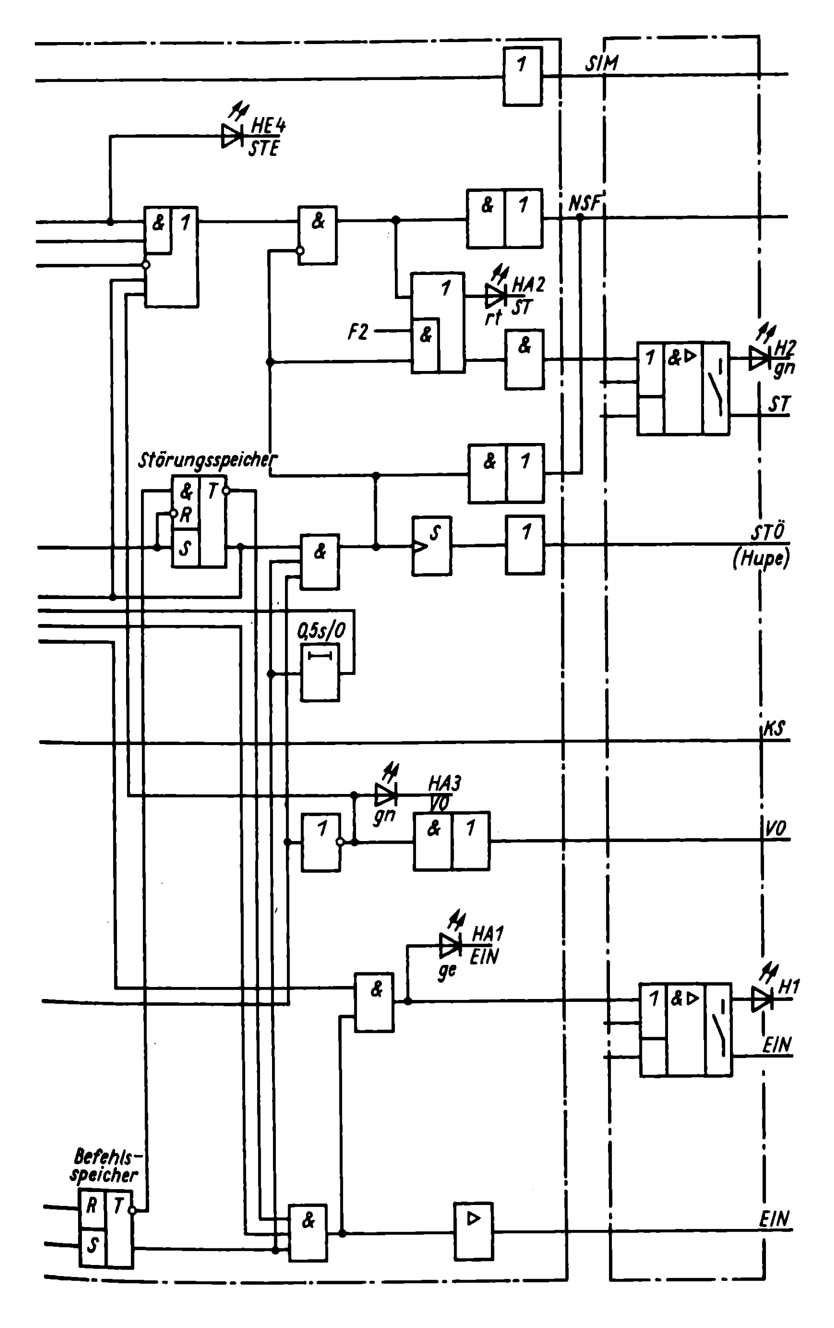


Bild 5.2.10. Antriebsgrundschaltung für einen Ein-Richtungs-Antrieb mit ursalog 4000
Erläuterungen der Kurzzeichen im Text

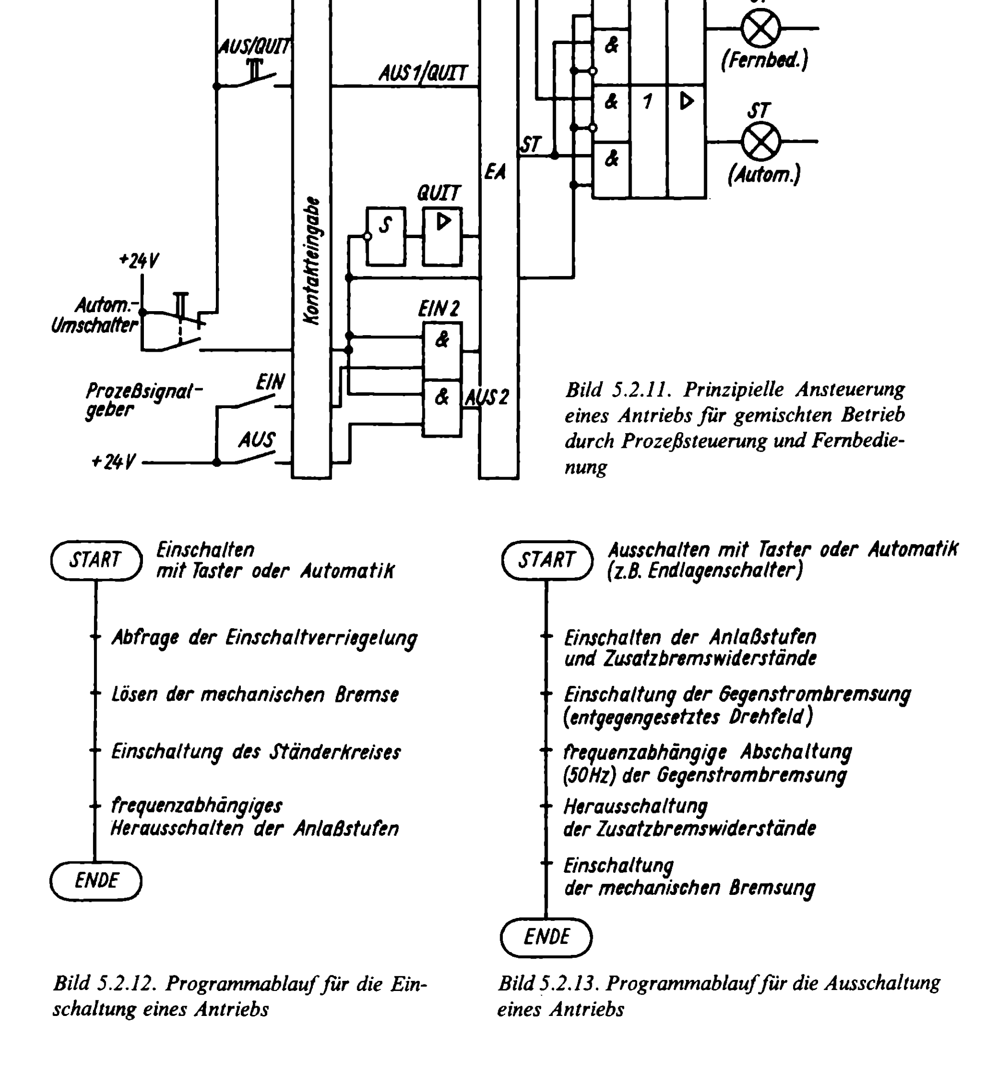


Bild 5.2.11. Prinzipielle Ansteuerung eines Antriebs für gemischten Betrieb durch Prozeßsteuerung und Fernbedienung

Bild 5.2.12. Programmablauf für die Einschaltung eines Antriebs

Bild 5.2.13. Programmablauf für die Ausschaltung eines Antriebs

frequenzabhängigen Schaltung wird ein schonender Anlauf erreicht; die Schaltung der Widerstandsstufen erfolgt unabhängig von der Last bei der programmierten Drehzahl. Durch zusätzliche Zeitüberwachung wird die maximale Anlaufzeit begrenzt. Der gesamte Steuerungsablauf ist in einem zyklisch arbeitenden Programm festgelegt. Der benötigte Speicherplatzbedarf für das Programm beträgt etwa 2 Kbyte mit einer Zykluszeit für die Abarbeitung des Programms von etwa 10 ms.

Im Steuerungsprogramm wird neben dem Steuerungsablauf für den Anlauf und die Stillsetzung das Melderegime für die Störungserfassung verwirklicht, wie es beim Ein-Richtungs-Antrieb

bereits ausführlich beschrieben wurde. Es werden Störungen erfaßt und an die Meldeebene abgegeben bzw. in der Antriebssteuerebene angezeigt, wenn

— 0,5 s nach dem Einschaltbefehl keine Rückmeldung über einen Hilfskontakt des Leistungsschalters vorliegt,
— die vorher anstehende Rückmeldung EIN länger als 2 s ausfällt, obwohl ein EIN-Befehl ansteht,
— eine Sicherheitsauslösung erfolgt,
— Signal „Störung Anlage" anliegt,
— der thermische Wicklungsschutz anspricht.

Die Programme für derartige Antriebsschaltungen werden weitgehend katalogisiert angeboten [5.35] [5.9] [5.10].

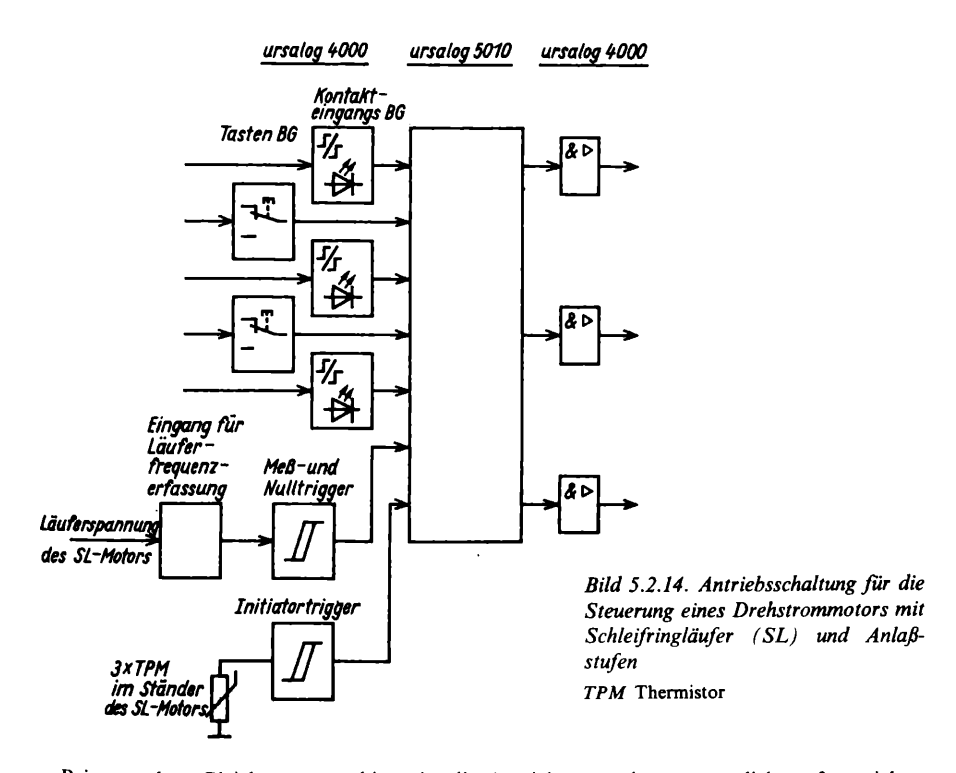


Bild 5.2.14. Antriebsschaltung für die Steuerung eines Drehstrommotors mit Schleifringläufer (SL) und Anlaßstufen
TPM Thermistor

Bei geregelten Gleichstrommaschinen ist die Antriebssteuerebene wesentlich umfangreicher. Die Energiezuführung ist steuerbar über Thyristoren, womit zu der Schaltanlage das Stellglied „Thyristorschaltung" hinzukommt. Der Umfang ist von der Betriebsart Ein-Richtungs- oder Zwei-Richtungs-Antrieb abhängig (s. [5.28]). Die Antriebssteuerebene enthält neben den Steuerfunktionen zur Betätigung des Antriebs und den Meldungen von Störungen und Verriegelungen auch die Einrichtungen zur Drehzahlregelung, Stromregelung und Feldregelung des GS-Motors. Der Eingang für den Sollwert der Drehzahl bildet die Schnittlinie. Bild 5.2.15 zeigt das Prinzipschaltbild eines geregelten Gleichstrommotors als Ein-Richtungs-Antrieb.

Diese Einrichtungen werden mit dem Thyristorstellglied als kompakte Geräte angeboten und können so in die Antriebssteuerebene eingeordnet werden. Bei größeren Antrieben (die Grenzen verschieben sich durch Fortschritte der Leistungselektronik ständig nach oben) werden die Ein-

richtungen zur Regelung und Steuerung in getrennten Gefäßen untergebracht, so daß sie mit übergeordneten Automatisierungsfunktionen, die der Funktionsgruppensteuerebene zugeordnet werden können, konstruktiv vereinigt werden. Der Einsatz geregelter Gleichstromantriebe erfolgt im Rahmen von Prozeßsteuerungen vorwiegend in Walzwerken.

Die gleiche Einteilung gilt für frequenzgeregelte Asynchronmotoren, die z. B. in Walzwerken zur Rollgangssteuerung eingesetzt werden.

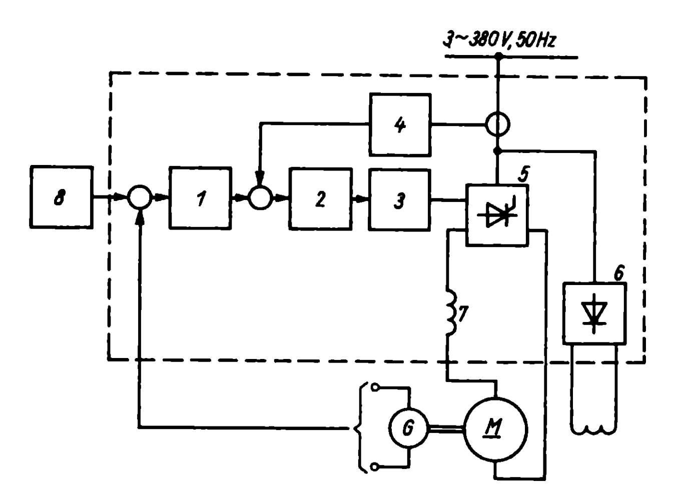


Bild 5.2.15. Drehzahlgeregelter Gleichstrommotor

1 Drehzahlregler; *2* Stromregler; *3* Ansteuergerät; *4* Strommeßglied; *5* Stromrichter für den Ankerkreis; *6* Stromrichter für den Feldkreis; *7* Glättungsdrossel; *8* Sollwertquelle

5.3. Funktionsgruppensteuerebene

In der Funktionsgruppensteuerebene werden die zum Steuern eines zusammenhängenden Teilprozesses erforderlichen Funktionen in Funktionsgruppen zusammengefaßt. Die Funktionsgruppensteuerebene ist der Antriebssteuerebene übergeordnet, und für die einzelnen Funktionsgruppen werden in dieser Ebene die für den Teilprozeß notwendigen logischen und zeitlichen Abhängigkeiten der Steuersignale für die dazugehörigen Antriebe und Meldeeinrichtungen gebildet. Dabei werden folgende Funktionen für die einzelnen Funktionsgruppen realisiert:

- Verarbeitung der Steuersignale von der Leitebene, Antriebssteuerebene und Prozeßebene zu einem programmierten Prozeßablauf
- Ausgabe von Meldesignalen als Zustands- und Störungsmeldung.

Erfordert der Prozeß eine Verknüpfung von Funktionsgruppen untereinander, so kann eine weitere Gruppenebene übergeordnet werden. Bei der Auslegung der Steuerungsanlage kommt es nicht darauf an, daß die genannten Ebenen eingehalten werden, sondern daß eine übersichtlich und hierarchisch geordnete Funktionsverteilung erreicht wird. Damit können auch Teilgruppen-, Gruppen- und Obergruppensteuerungen gebildet werden, wie sie in der Literatur teilweise genannt werden.

Die Funktionsgruppensteuerung kann nach der Art und den Erfordernissen des Teilprozesses nach unterschiedlichen Steuerungsprinzipien aufgebaut werden. Nach der im Abschnitt 3.2.2. gegebenen Übersicht werden vorrangig.

- Verknüpfungssteuerungen (kombinatorische Schaltungen)
- Ablaufsteuerungen, zeit- oder prozeßgeführt
- Wegeplansteuerungen (Start-Ziel-Steuerung)
- Führungssteuerungen

genutzt, die in den Abschnitten 5.3.1. bis 5.3.3. an Beispielen erläutert werden.

Bei der Verknüpfungssteuerung ist jeder Kombination der Eingangsvariablen $X_1 \ldots X_n$ ein Zustand der Ausgangsvariablen $Y_1 \ldots Y_n$ zugeordnet. Die Eingangsvariablen werden durch Signale der Bedienung und Prozeßsignale der Zustandsdarstellung gebildet. Die Ausgangsvariablen sind die Steuersignale für die angeschlossenen Antriebe der Antriebssteuerebene und Meldesignale.

Bei der Ablaufsteuerung ist der Steuerungsablauf programmiert (Programmsteuerung) als Zeitplansteuerung oder durch die Rückkopplung von Zustandsgrößen. Bei der Zeitplansteuerung wird der Steuerungsablauf durch eine festgelegte zeitliche Reihenfolge mit programmierten Zeitschritten bestimmt. Die Anwendung erfolgt vorrangig bei Maschinensteuerungen, z. B. Anlaßvorgang eines Notstromaggregats. Dabei wird die Programmsteuerung häufig durch eine Schaltwalze realisiert. Bei Prozeßsteuerungen sind diese Mittel ungeeignet. Hier werden Zeitwerke eingesetzt, die die einzelnen Schaltstufen realisieren.

Die prozeßgeführte Ablaufsteuerung ist ein zwangsweiser Steuerungsablauf über ein Schrittschaltwerk oder eine Taktkette. Die Fortschaltbedingungen werden nicht durch Zeitwerke festgelegt, sondern sie sind mit der Erfüllung von Prozeßbedingungen verknüpft. Sind die festgelegten Prozeßbedingungen erfüllt, wird zum nächsten Programmschritt weitergeschaltet.

Die Start-Ziel-Steuerung ist eine für die Problemstellung der Auswahl eines Förderweges o. dgl. systematisierte kombinatorische Schaltung. Es werden z. B. Aufgabe- und Zielpunkt eines Förderweges vorgewählt, und nach dem Startbefehl schalten sich alle dazwischenliegenden Antriebe in der richtigen Reihenfolge automatisch zu. Hinsichtlich der Realisierung sind folgende Varianten möglich:

- jedem Förderweg wird ein Speicher zugeordnet, $(n \cdot m)$-Speicher;
- jedem Aufgabe- und Zielpunkt wird ein Speicher zugeordnet, $(n + m)$-Speicher;

n Anzahl der Aufgabenpunkte, m Anzahl der Zielpunkte.

Im ersten Fall sind Start- und Zielsignal für den Förderweg konjunktiv für die Bildung des Setzbefehls für den Speicher zu verknüpfen. Von jedem Speicher werden die für den Förderweg notwendigen Antriebe eingeschaltet. Im zweiten Fall ist die Verknüpfung der Signale für die Wahl des Förderweges und der einzuschaltenden Antriebe nach dem Speicher vorzunehmen.

Neben der Verknüpfungssteuerung ist die Ablaufsteuerung ganz besonders charakteristisch für Prozeßsteuerungen. Sie liefert einen übersichtlichen Steuerungsablauf, läßt sich gut kontrollieren, der Ablaufzustand ist leicht darstellbar durch Anzeige des laufenden Taktes. Der Steuerungsablauf ist besonders für Anfahr- und Abfahrprozesse von Funktionsgruppen geeignet.

Die Führungssteuerung ist eine numerische Steuerung, indem die Prozeßgröße über eine Regelung an einen variablen Führungswert, dessen zeitlicher Verlauf vorher nicht bekannt ist, angeglichen wird. Als Beispiel sei die Sollwertberechnung für die geregelten Antriebe einer Funktionsgruppe (z. B. Walzgerüstgruppe) und die übergeordnete Regelung der Drehzahl dieser Antriebe (s. Abschn. 5.3.3.) genannt. Derartige Steuerungen werden zweckmäßig mit speicherprogrammierbarer Technik aufgebaut.

Wie bereits im Abschnitt 5.1. angegeben wurde, kann die Funktionsgruppensteuerebene in verbindungsprogrammierter oder in speicherprogrammierbarer Technik ausgeführt werden. Bild 5.3.1 zeigt das Strukturschema einer speicherprogrammierbaren Steuerungseinrichtung mit den Bedienmöglichkeiten. Ausgehend von dem Strukturschema (Bild 5.1.4) wird für jede Funktionsgruppe eine Steuereinheit vorgesehen. Diese besteht aus der zentralen Verarbeitungseinheit (im Bild mit Mikrorechner (*MR*) benannt), den Eingabe- und Ausgabebaugruppen (*E* bzw. *A*) zur Signalanpassung an den Prozeß bzw. an die Antriebssteuerebene, der Baugruppe zum Anschluß der Datenbahn (Zwischenblockinterface *ZI*), der Anschlußsteuerung (*AS*) für das

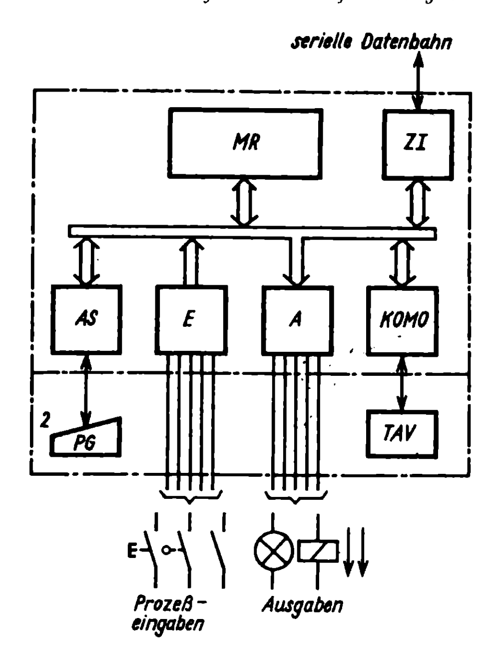


Bild 5.3.1
Strukturschema einer speicherprogrammierbaren Einrichtung
Erläuterung der Kurzzeichen im Text

Programmiergerät und dem Kommandomodul (*KOMO*) für die Bedienung über den Tasten- und Anzeigevorsatz (*TAV*). Die Geräte sind im Abschnitt 4. näher erläutert.

Der Umfang des Speichervolumens kann es zulassen, daß von einer Verarbeitungseinheit eine oder mehrere Funktionsgruppen durch ein zusammenhängendes Programm gesteuert werden. Eine derartige Vermaschung ist für die Strukturierung mit der Zielstellung eines übersichtlichen Steuerungsablaufs, der Zugriffsfähigkeit zu einzelnen Funktionsgruppen und der Inbetriebsetzung nicht zweckmäßig. Beim Einsatz der speicherprogrammierbaren Funktionsgruppensteuerung ist darauf zu achten, daß nur die Funktionen zusammengefaßt werden, die in einem funktionellen Zusammenhang stehen bzw. einen Automatisierungsabschnitt betreffen.

Die Verbindung der Funktionsgruppensteuerung mit der Antriebssteuerebene zeigt Bild 5.3.2. Das Beispiel betrifft das Zusammenwirken der Steuereinheit ursalog 5020 in der Funktionsgruppensteuerebene mit der Steuereinheit ursalog 5010 in der Antriebssteuerebene. Mit einer derartigen Funktionsaufteilung wird erreicht, daß der Betrieb der Einzelantriebe ohne Funktion der übergeordneten Ebene möglich ist. Das wird benötigt in allen Fällen der Handsteuerung beim Einfahren, bei Reparaturen u. dgl. Der Automatikbetrieb wird über die Funktionsgruppensteuerebene betrieben. Einzelantriebe, die in keine Funktionsgruppe eingebunden sind, können auch direkt vom Steuerpult bedient werden.

Die Programmstrukturierung muß der Problemstellung angepaßt werden. In der Funktionsgruppensteuerung ist die Programmierung nach einem zyklisch arbeitenden Programm, ereignisgesteuerten Programmaufrufen oder deren Kombinationen durch zyklische Abarbeitung der jeweils veränderten Parameter möglich. Bestimmend für die Strukturierung ist die notwendige Reaktionszeit der Steuerung, die sich aus einer Grundzeit und der Programmlänge ergibt (s. dazu Abschn. 4.3.). Für den übersichtlichen Programmaufbau wurden Programmodule geschaffen, die eine rationelle Programmierung erlauben (s. Abschn. 6.). In [5.7] [5.36] werden u. a. Funktionsbausteine für Ablaufsteuerungen, Regelungsfunktionen und Meldefunktionen beschrieben.

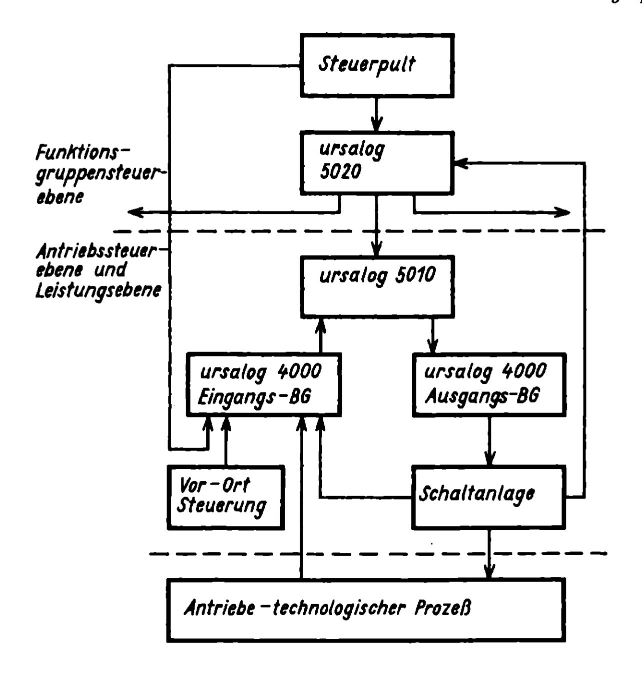


Bild 5.3.2
Aufbau einer Funktionsgruppensteuerung mit ursalog 5020, 5010 und 4000
BG Baugruppen

5.3.1. Taktkettensteuerung

Eine Funktionsgruppensteuerung nach dem Taktkettenprinzip kann mit dem Steuerungssystem ursalog 4000 mit den Baugruppen

- Startbefehlsbaugruppe
- Taktkettenbaugruppe

aufgebaut werden. Zur Anpassung an den Prozeß sind Verknüpfungsbaugruppen zur Verknüpfung der Fortschaltbedingungen und Verstärker-Relais-Baugruppen für die Ausgabe von Signalen notwendig. Bild 5.3.3 zeigt das Grundprinzip der Startbefehlsbaugruppe [5.3]. Wichtigster Bestandteil der Befehlsverarbeitung ist der Befehlsspeicher, über den mit dem Signal „Start" der erste Takt gesetzt wird. Der Befehlsspeicher wird durch Anfahr- oder Abfahrsignale bei erfolgter Freigabe gesetzt. Befehlssignal und Freigabesignale sind zum Aufbau von Verriegelungen konjunktiv verknüpft. Der Ausgang des Befehlsspeichers wird als Setzbefehl an den ersten Takt der Taktkettenbaugruppe übertragen. Parallel dazu erfolgt eine Meldung für die gestartete Ablaufsteuerung als Blinklicht mit der Frequenz *f1*, die auch auf der Baugruppe angezeigt wird (Zustandsanzeige).

Der Speicher wird zurückgesetzt durch den Befehl

- Halt mit Verriegelungsmöglichkeiten
- Löschen, womit alle gesetzten Takte gelöscht werden können
- Rücksetzbefehl nach Durchlauf aller Taktkettenschritte durch die Rückmeldung des letzten Antriebs (RM).

Außerdem kann der Befehlsspeicher durch ein Störsignal vom gesetzten Störspeicher rückgesetzt werden, was einem HALT der Taktkettenfortschaltung entspricht. Der Störspeicher wird durch erkannte Störungen STÖ aus der Antriebssteuerebene und durch Laufzeitüberschreitung gesetzt, und der Ausgang blinkt mit der Frequenz *f2* (Störungsmeldung). Mit der Quittierung QUIT wird

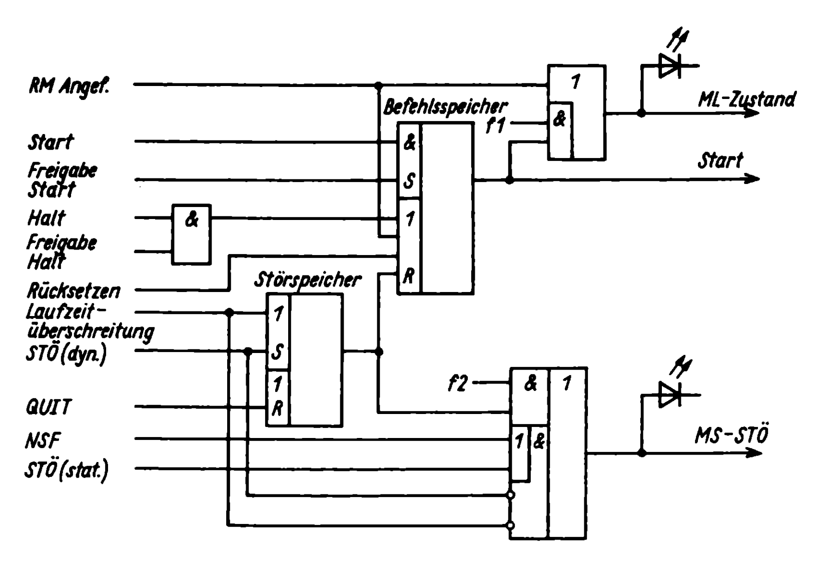


Bild 5.3.3. Grundprinzip einer Startbefehlsschaltung für eine Taktkette
Erläuterung der Kurzzeichen im Text

der Störspeicher wieder gelöscht. Mit dem Signal NSF wird ein Signal von der Antriebssteuerebene, das „nicht schaltfähig" bedeutet, für die Störungsmeldung zur Anzeige gebracht als Dauersignal der Störung.

Bild 5.3.4 zeigt das Grundprinzip der Taktkettensteuerung. Mit dem Setzbefehl „Start" von der Startbefehlsbaugruppe wird der erste Takt gesetzt. Voraussetzung ist, daß die Verriegelungsbedingungen für den ersten Takt erfüllt sind, bei den weiteren Takten mit F0 bezeichnet. Damit wird der Befehl für die Einschaltung der angeschlossenen Stellglieder gegeben. Mit F0 werden die Fortschaltbedingungen für den nächsten Takt gesammelt. Nach Erfüllung aller F0 erfolgt die Zuschaltung des nächsten Taktes. Mit dem Setzen wird der vorausgegangene Takt zurückgesetzt.

Folgende Funktionen werden erfüllt:

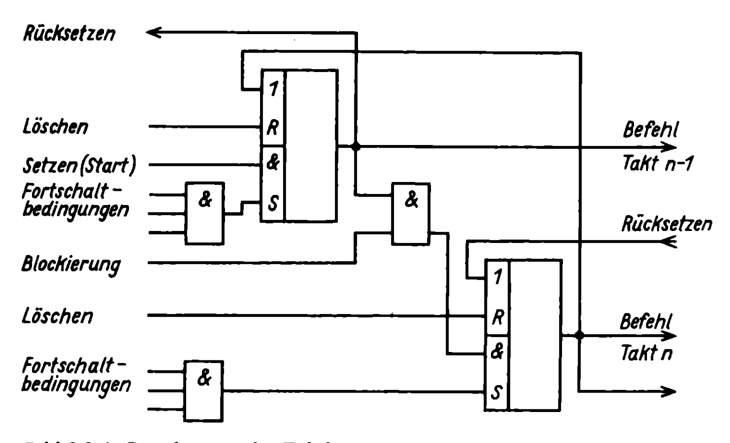


Bild 5.3.4. Grundprinzip der Taktkettensteuerung

- Verarbeitung und Verriegelung der Startbefehle
- Verarbeitung von internen Meldesignalen und die Erzeugung der Meldesignale für die Leitebene (Warte)
- Taktkettenfunktionen mit in Schritten von drei Takten (bei ursalog 4000) aufbaubaren Taktketten.

Diese drei Hauptteile sind untereinander verknüpft. Wichtigster Bestandteil der Befehlsverarbeitung ist der Befehlsspeicher, über den der erste Takt gesetzt wird. Im Befehlsspeicher werden einlaufende Anfahr- oder Abfahrbefehle gespeichert, wenn die Speicherung nicht durch Verriegelungssignale wie HALT-Signale (HALT dominiert) verhindert wird. Die wichtigste Funktion des Meldeteils, Speicherung einlaufender Störungsmeldungen, wird durch den Störspeicher realisiert. Im Taktkettenteil haben die Taktspeicher dominierende Funktion. An Ein- und Ausgängen aller Speicher werden durch logische Glieder die erforderlichen Verknüpfungen und Verriegelungen vorgenommen.

Zur Überwachung der Fortschaltung und Erkennung von Störungen wird die Laufzeit der Taktfortschaltung durch eingestellte Zeitwerke überwacht. Die Zeiten sind entsprechend den Laufzeiten des Prozesses für die Freigabe der Weiterschaltung bei der Projektierung festzulegen. Überschreitet die Wartezeit die eingestellte Zeit, so wird der Störspeicher gesetzt, der ein Meldesignal ausgelöst. Eine Laufzeitüberschreitung kann durch elektrische oder technologische Störungen ausgelöst werden (z. B. der Öldruck wird nicht in der vorgesehenen und programmierten Zeit erreicht).

Bild 5.3.5 zeigt prinzipiell die Ansteuerung der Gruppensteuerung bei einer Prozeßsteuerung und Fernbedienung für eine Funktionsgruppe mit fünf Antrieben. Die Darstellung zeigt die Verknüpfung der Signale aus der Leitebene mit den Prozeßsignalen bei Prozeßsteuerung. In der Funktionsgruppensteuerung können die Taktkettenbaugruppen zu einer beliebigen Anzahl von Takten mit Verzweigungen zusammengeschaltet werden, so daß Ablaufsteuerungen beliebigen

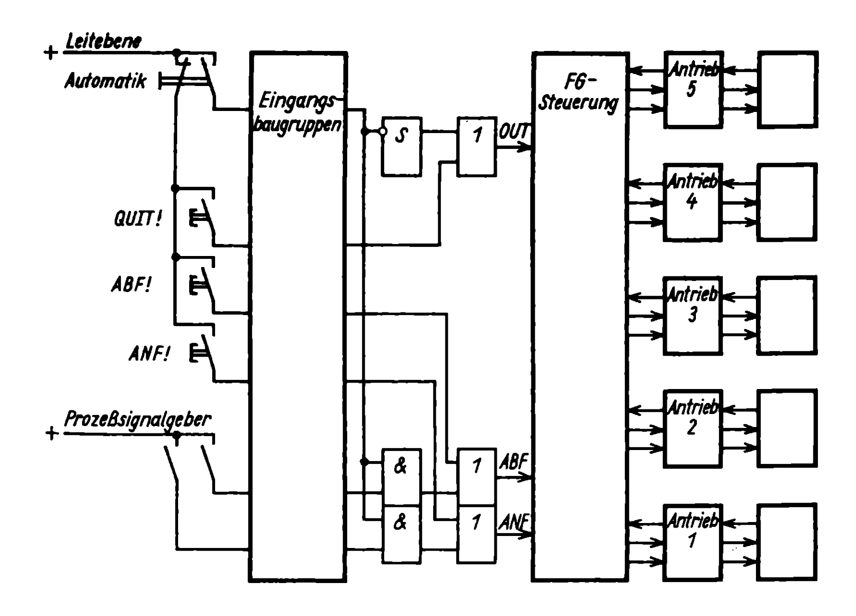


Bild 5.3.5. Gruppensteuerung für 5 Antriebe bei Prozeßsteuerung und Fernbedienung
FG Funktionsgruppe; *ABF* Abfahrbefehl; *ANF* Anfahrbefehl; *QUIT* Störungsquittierung

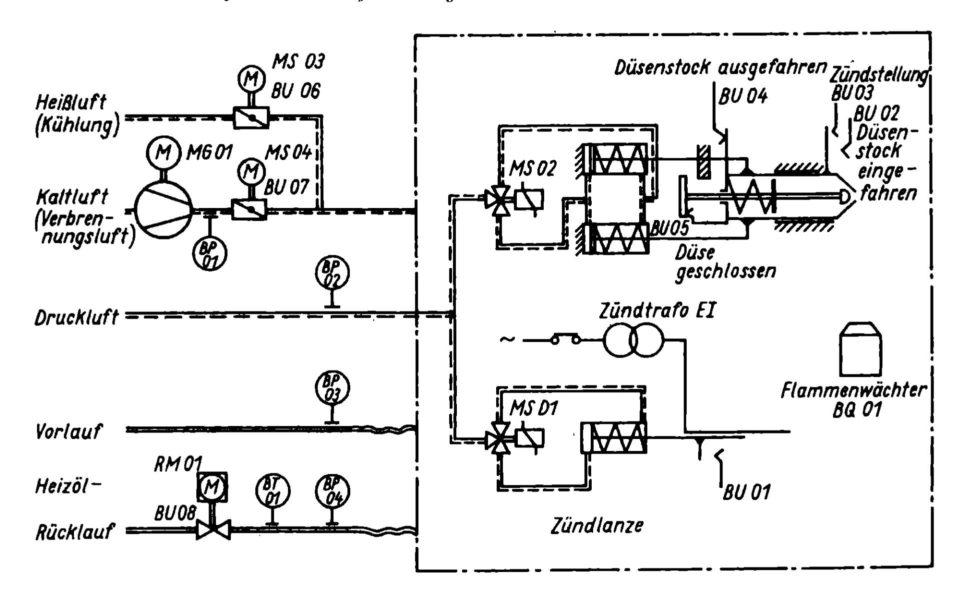


Bild 5.3.6. Anlagenschema eines Zündölbrenners

Umfangs aufgebaut werden können. Während des Anfahr- bzw. Abfahrprozesses wird ein Blinksignal abgegeben, womit der Lauf des Anfahr- oder Abfahrprozesses angezeigt wird.

Bei größeren Ablaufsteuerungen ist der Übergang zur speicherprogrammierbaren Technik (ursalog 5020) wirtschaftlich. Als Beispiel wird die Funktionsgruppensteuerung für einen Zündölbrenner (Einsatz in Kraftwerken) näher erläutert.

Bild 5.3.6 zeigt das technologische Anlagenschema für den Zündölbrenner, den zugehörigen Programmablaufplan für den Anfahrprozeß Bild 5.3.7. Die Funktionsgruppensteuerung ist als Taktkettensteuerung (Schrittsteuerwerk) ausgeführt.

Nach einer Sammlung der Einschaltvoraussetzungen wird der Start freigegeben. Damit wird der erste Takt gesetzt, und die genannten Antriebe *RM 01* und *MS 01*, *MG 01* und *MS 03* werden eingeschaltet.

Mit Erreichen des Lüfterdruckes *BP 01* wird die Fortschaltbedingung *P1* erreicht und damit der Takt 2 (*S2*) gesetzt. *MS 02* wird eingeschaltet und die Bedingungen *P0*, *P'* und die Rückmeldung von *MS 04* werden zu *P2* konjunktiv verknüpft. Mit *P2* erfolgt die Fortschaltung zu *S3*. Die weitere Abarbeitung kann dem PAP entnommen werden. Die Zeitangaben zwischen den Schritten *Sx* und *Px* geben die programmierte Laufzeit an. Wird die Laufzeit überschritten, d. h., eine Fortschaltbedingung wird nicht erfüllt, so geht die Taktkettenfortschaltung in den STOP, und es wird eine Störung ausgewiesen.

5.3.2. Start-Ziel-Steuerung

Als Beispiel für eine Start-Ziel-Steuerung zeigt Bild 5.3.8 das technologische Schema eines Materialfördersystems, wofür die Steuerung zur Erleichterung der Bedienung angewendet werden kann. Dabei werden Aufgabe- und Zielpunkt eines Förderweges vorgewählt, und nach dem Startbefehl schalten sich alle dazwischenliegenden Antriebe in der richtigen Reihenfolge automatisch ein.

Jedem Aufgabe- und Zielpunkt ist ein Taster zugeordnet. Durch gleichzeitiges Betätigen von

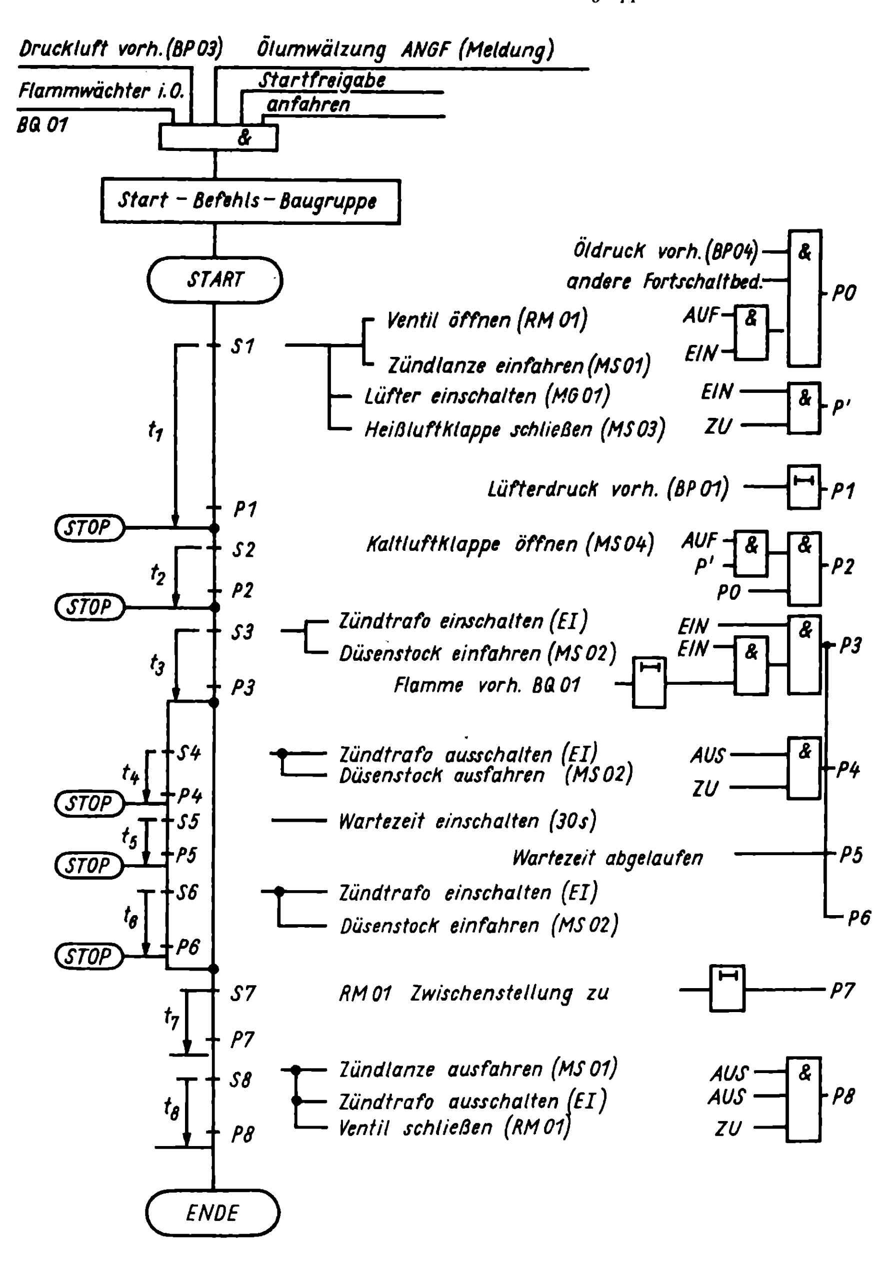


Bild 5.3.7. Programmablaufplan für den Anfahrprozeß eines Zündölbrenners

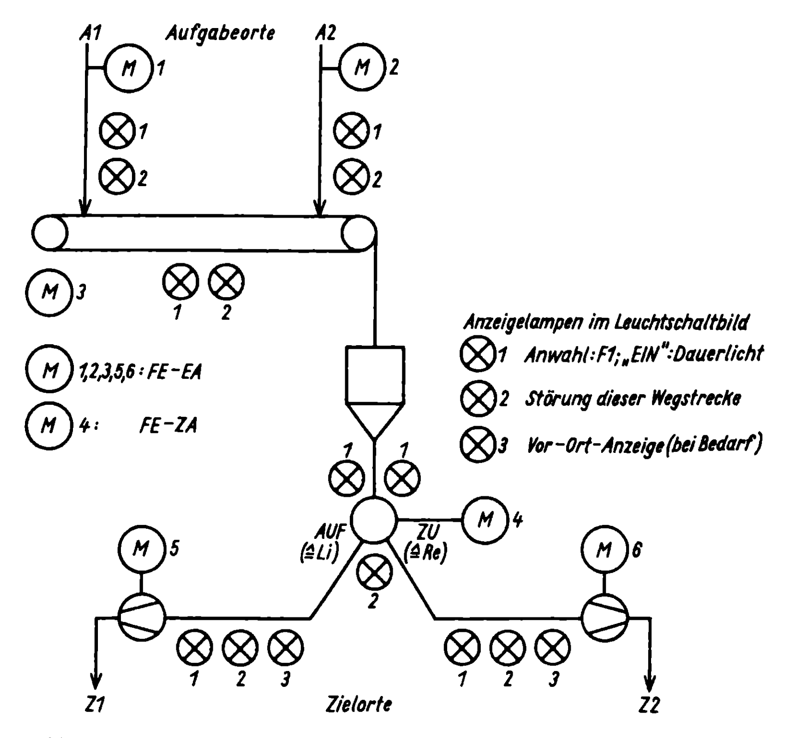


Bild 5.3.8. Technologisches Schema eines Materialfördersystems

Aufgabe- und Zielpunkttaster wird der Förderweg angewählt, der auf einem Leuchtschaltbild kontrolliert werden kann.

Im Bild 5.3.9 ist das Prinzipschaltbild des Steuerungsteils dargestellt; es umfaßt zur Übersicht den Anteil der Funktionsgruppensteuerung und die angeschlossenen Antriebe. Jedem Förderweg ist ein Anwahlspeicher zugeordnet, der durch gleichzeitiges Betätigen der Aufgabe- und Zieltaste gesetzt wird. Ist ein Anwahlspeicher gesetzt, so blockiert sein Ausgangssignal die Setzeingänge aller Anwahlspeicher, so daß bis zur Löschung dieses Speichers eine weitere Anwahl nicht möglich ist. Das vom Anwahlspeicher abgegebene Anwahlsignal gelangt über die Ansteuermatrix (Verknüpfung der anzusteuernden Antriebe für den Förderweg) an die Freigabeeingänge der anzuwählenden Antriebe und kann darüber hinaus zur Anwahlanzeige genutzt werden. Bei diesem Beispiel kann jeweils nur ein Weg angefahren werden. Erst nach erfolgter Rückmeldung wird die Blockierung der Anwahlspeicher aufgehoben und damit die Vorwahl eines anderen Förderweges möglich.

Sollen Förderwege parallel angefahren werden, darf die Blockierung der Anwahlspeicher nicht vom Setzen eines Anwahlspeichers abhängig gemacht werden, sondern muß über den Startspeicher erfolgen.

Mit Betätigen der Starttaster wird der durch den Anwahlspeicher freigegebene Startspeicher gesetzt, so daß über den Block *ABS* die Anfahrwarnung und nach einer vorwählbaren Zeit (z. B. 20 s) die Einschaltimpulse *E1* und *E2* abgegeben werden (s. Bild 5.3.10). Damit werden die vorgewählten Antriebe gestaffelt durch *E1* und *E2* und gemäß der zwischen ihnen notwendigen Folgeverriegelung eingeschaltet, und die Schieber in die vorgewählte Richtung gefahren. Sind die Antriebe eines Weges vollständig in Betrieb, so wird der Anwahlspeicher durch die anstehenden

Rückmeldungen gelöscht. Dies bewirkt das Zurücksetzen des Startspeichers und damit das Verschwinden der Einschaltimpulse *E1* und *E2* und der Anfahrwarnung.

Der Anwahlspeicher wird auch bei Störung oder Vor-Ort-Betrieb eines zum Weg gehörenden Antriebs gelöscht bzw. kann nicht gesetzt werden.

Mit der Anlaufstoptaste kann ein Anlaufvorgang unterbrochen werden, wobei die schon laufenden Antriebe in Betrieb bleiben. Die Anlaufstoptaste bewirkt das Zurücksetzen des Startspeichers, so daß die Einschaltimpulse und die Anfahrwarnung verschwinden. Ein Weiterfahren ist durch erneutes Starten und mit Anfahrwarnung möglich.

Bei Betätigung des Löschtasters wird der entsprechende Anwahlspeicher gelöscht (z. B. bei verkehrter Anwahl). Das Betätigen des Löschtasters und des Aufgabetasters bewirkt das Abschalten der Materialaufgabe; Löschtaster und Zieltaster dagegen schalten den letzten Antrieb eines Weges ab, so daß die davorliegenden Antriebe über die Fortschaltbedingungen abschalten.

Das Betätigen von Löschtaster und Aus-Taster bewirkt das Abschalten aller Antriebe, wobei das technologische Ausschaltschema zu berücksichtigen ist.

Technologische Verriegelungen der Wege untereinander lassen sich zusätzlich durch Blockierung der entsprechenden Anwahlspeicher mit den Anwahl- bzw. Rückmeldesignalen der Wege erreichen.

Zusammenfassung der Bedienhandlungen

Betätigung der Taster	Bemerkung
– Aufgabeorttaster – Zielorttaster } gleichzeitig	– ein Anwahlspeicher gesetzt – andere Anwahlspeicher blockiert – Freigabe Startspeicher – Einschaltfreigabe für die Antriebe (Antriebssteuerebene) – Anwahlanzeige
– Starttaster	– Startspeicher gesetzt – Realisierung der Anfahrwarnung – nach 20 s Realisierung von *E1*, *E2*
– Stoptaster	– Rücksetzen Startspeicher (Anwahl bleibt, eingeschaltete Antriebe laufen weiter)
– Löschtaster	– Rücksetzen Anwahlspeicher nach irrtümlicher Vorwahl
– Löschtaster Aufgabeorttaster } gleichzeitig	– Abschaltung der zur Materialaufgabe gehörenden Antriebe
– Löschtaster Zielorttaster } gleichzeitig	– Abschaltung der Zielgruppe vom letzten Antrieb aus über den Wegfall der Fortschaltbedingungen, falls diese nicht anderweitig realisiert wird
– Löschtaster – Aus-Taster } gleichzeitig	generelles Ausschalten nach vorgegebenem Ausschaltschema

Bei der Start-Ziel-Steuerung wird eine gute Übersicht über den Schaltzustand der Anlage durch ein Leuchtschaltbild in der Warte erreicht. Eine Meldung je Wegeabschnitt wird vorgesehen, zu dem ein oder mehrere Antriebe gehören, die immer gemeinsam angewählt werden. Für die einzelnen Wegabschnitte können folgende Meldungen vorgesehen werden (s. Bild 5.3.8):

- Anwahl- und Zustandsanzeige
- Störungsanzeige
- Vor-Ort-Betriebsanzeige.

Die Anwahl eines Wegabschnitts wird durch Blinklicht mit der Frequenz *f1* angezeigt (s. Bild 5.3.11). Sind alle Antriebe dieses Wegabschnitts in Betrieb bzw. die Stellglieder in die richtige Lage gefahren, so geht das Blinklicht in Dauerlicht über und signalisiert den EIN-Zustand dieses Wegabschnitts. Das Anlaufen eines vorgewählten Weges läßt sich somit an den Zustandsanzeigen der einzelnen Wegabschnitte verfolgen, die schrittweise vom Blinklicht in Dauerlicht

Bild 5.3.9. Prinzipschaltbild einer Start-Ziel-Steuerung

ABS Anfahrwarnung und Bildung der Einschaltsignale; *EA* Ein-Richtungs-Antrieb; *ZA* Zwei-Richtungs-Antrieb

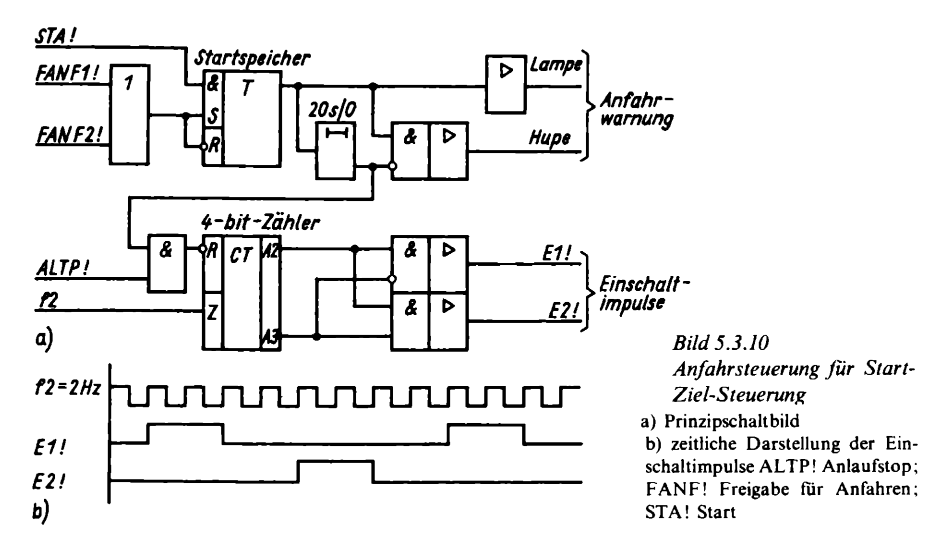


Bild 5.3.10
Anfahrsteuerung für Start-Ziel-Steuerung
a) Prinzipschaltbild
b) zeitliche Darstellung der Einschaltimpulse ALTP! Anlaufstop; FANF! Freigabe für Anfahren; STA! Start

übergehen. Sind ein oder mehrere Antriebe eines Wegabschnitts auf Vor-Ort-Betrieb geschaltet, so entsteht die Meldung „Vor-Ort-Betrieb", die nur bei Bedarf Verwendung finden sollte. Die Störungsmeldung je Wegabschnitt wird nach der Schaltung im Bild 5.3.12 realisiert. Wird ein Antrieb eines Wegabschnitts gestört, so erfolgt ein Setzen des dazugehörigen Störspeichers und Meldung mit dem Blinklicht der Frequenz $f2$ ($f2 = 2f_1$) sowie das Setzen des zentralen Hupenspeichers. Das Meldeschema für einen Wegabschnitt ist im Bild 5.3.13 dargestellt.

Mit dem Quittiertaster auf der Warte wird die Störung quittiert, und das Blinklicht geht in Dauerlicht über. Der Antriebsstörspeicher bleibt aber weiterhin gesetzt, und die Lumineszenzdioden auf der Baugruppe signalisieren den gestörten Antrieb bzw. die Art der Störung. Nach Störungsquittierung im Informationsverarbeitungsfeld (IVA) und Verschwinden der Störung erlischt die Störlampe auf der Warte [5.20].

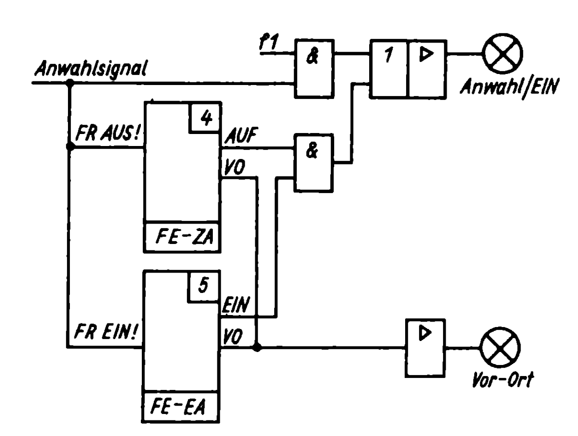


Bild 5.3.11
Zustandsmeldung für den Wegabschnitt M4 bis M5
FE-ZA Funktionseinheit Zwei-Richtungs-Antrieb
FE-EA Funktionseinheit Ein-Richtungs-Antrieb

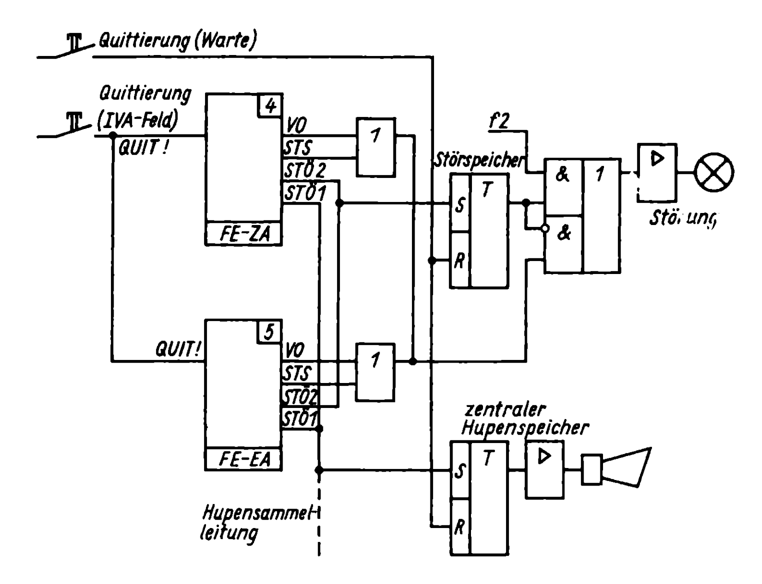


Bild 5.3.12. Störungsmeldung für den Wegabschnitt M4 bis M5

Anzeigen für den Wegabschnitt M4 und M5 im Leuchtschaltbild			Informationsinhalt der Meldung
Anwahl/EIN	Störung	Ort	Wegabschnitt ist
dunkel	dunkel	dunkel	abgeschaltet
Blinklicht f1	dunkel	dunkel	angewählt bzw. läuft an
Dauerlicht	dunkel	dunkel	eingeschaltet
dunkel	Blinklicht f2	dunkel	gestört
dunkel	Dauerlicht	dunkel	gestört und Störung ist quittiert
dunkel	Dauerlicht	Dauerlicht	abgeschaltet und mindestens ein Antrieb auf Vor-Ort
Dauerlicht	Dauerlicht	Dauerlicht	eingeschaltet und mindestens ein Antrieb auf Vor-Ort

dunkel; Dauerlicht; Blinklicht f1; Blinklicht f2

Bild 5.3.13
Meldeschema am Beispiel eines Wegabschnitts

5.3.3. Führungssteuerung

Verbreitete Anwendung findet die speicherprogrammierbare Technik bei Steuerungsaufgaben, wo neben der binären Steuerungslogik numerische Verarbeitungen verlangt werden. Als Beispiel wird hier die Steuerung von Walzenzugmotoren genannt [5.6] [5.8] [5.32]. Die Walzenzugantriebe sind stromrichtergespeiste geregelte Gleichstromantriebe. Die Strom- und Drehzahlregelung erfolgt mit Mitteln der analogen Gerätetechnik. Damit wird eine hohe dynamische Güte (Drehzahlstellbereich bis 1 : 500, Ausregelzeit für die Drehzahl $T_a \leqq 100$ ms, bleibende Regelabweichung $V \leqq 1\,\%$) erreicht. Die Sollwertvorgabe erfolgt aus der Funktionsgruppensteuerebene, womit jeder Antrieb in der Drehzahl getrennt einstellbar ist. Die Schnittstelle zur Antriebssteuerung wird vorzugsweise digital gewählt, d. h., in der Antriebssteuerebene ist ein DA-Umsetzer vorhanden, der aus der Funktionsgruppensteuerebene angesteuert wird. Das erlaubt eine störungsfreie Übertragung von Signalen mit Einheitspegel über größere Entfernungen. Für die Sollwertvorgabe werden in der Funktionsgruppensteuerebene folgende Funktionen vereinigt:

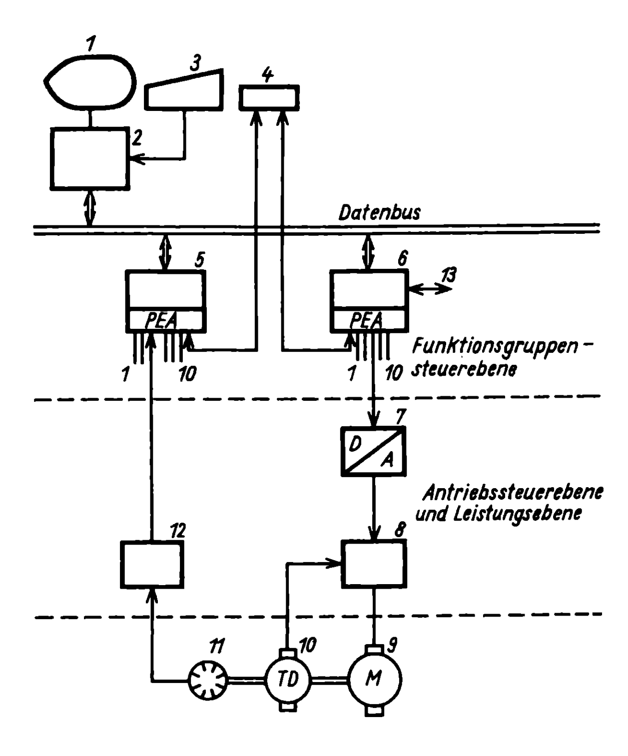


Bild 5.3.14. Schematische Darstellung der Hauptantriebsregelung und Bedienung für den Antrieb in der Walzstraße

1 Bildschirm; *2* Mikrorechner zur Steuerung von Datenbus und Bildschirm; *3* Tastatur; *4* Einzelbedienung, Folgeverstellung, Einzelanzeige; *5* Mikrorechner zur digitalen Zusatzregelung; *6* Mikrorechner zur Sollwertberechnung; *7* Digital-Analog-Wandler; *8* Thyristorstellglied mit analoger Drehzahl- und Stromregelung; *9* Gleichstrommotor/Walzenantriebsmotor; *10* Tachomaschine für analoge Drehzahlregelung; *11* Impulsgeber für digitale Zusatzregelung; *12* Anpassungsgerät für den Impulsgeber; *13* 2-Punkt-Verbindung für Datenaustausch

— Speicherung der eingegebenen Sollwerte mit einer Genauigkeit von 1‰
— Berechnung des Motordrehzahl-Sollwertes aus den Größen Geschwindigkeit in m/s, Walzendurchmesser in mm und Getriebeübersetzung
— Sequenzsteuerung von Hand oder durch Schlingenregelung oder Zugregelung
— Einzelkorrektur der Antriebsgeschwindigkeit
— Verstellung des Geschwindigkeitsniveaus der gesamten Walzstraße
— Sollwert-Istwert-Vergleich und Ausgabe der Differenz als Korrekturwert zum Sollwert zur Erreichung einer Langzeitkonstanz der Drehzahl von $V \leqq 1‰$.

Bild 5.3.14 zeigt den Aufbau der digitalen Sollwertvorgabe und digitalen Zusatzregelung. Über die Bedieneinheit (zentrale Tastatur oder Einzeleingabe) werden als Grundwert Walzgeschwindigkeit und Walzendurchmesser für die einzelnen Antriebe und die Niveauverstellung eingegeben. Die Steuerstation verteilt die Werte über den Datenbus an die Sollwertrechner, wo die antriebsbezogenen Sollwerte für die Drehzahl bei Berücksichtigung der Getriebeübersetzungen berechnet werden. Die Ausgabe der Sollwerte erfolgt über eine entsprechende Prozeßanpaßbaugruppe an die in der Antriebsebene vorhandenen DA-Wandler. Bild 5.3.15 gibt das Berechnungsschema für die Sollwertberechnung an [5.8]. Der Anfangssollwert wird mit der Einzelverstellung durch Addition oder Subtraktion verrechnet. Die wählbare Geschwindigkeit muß der Beobachtungsmöglichkeit der Veränderung durch den Bedienenden angepaßt werden. Sie kann einstellbar gewählt werden von 0,5 bis 5 %/s. Die Niveaueinstellung erfolgt durch einen Leitwert, der vom Bedienpult vorgegeben wird. Die Folgeverstellung wird als prozentualer Wert des Leitwertes zum Leitwert addiert oder subtrahiert. Die Folgeverstellung erfolgt mit der gleichen Geschwindigkeit wie die Einzelverstellung. Das Ergebnis wird an den nächsten Antrieb als Leitwert weitergegeben und — mit dem Einzelsollwert multipliziert — an die Antriebssteuerebene ausgegeben. Mit der Folgeverstellung wird erreicht, daß alle Antriebe in Walzrichtung oder entgegen der Walzrichtung prozentual zu ihrem Drehzahlwert gleich verstellt werden, so daß die Drehzahlverhältnisse zwischen den Gerüsten — ausgehend von dem auslösenden Gerüst — gleichbleiben. Mit dem Mikrorechner zur digitalen Zusatzregelung wird über Eingangszähler die Drehzahl durch zyklische Abfrage ($t_Z = 1$ s) erfaßt und für die Anzeige zur Verfügung gestellt. Zur Gewährleistung einer hohen Drehzahlkonstanz wird der Istwert im Zyklus von 10 s (Mittelwert von 10 Meßwerten) mit dem Sollwert verglichen und über einen I-Algorithmus als Korrekturwert für den Sollwert ermittelt, der dem Sollwertrechner über den Datenbus übergeben wird. An einen Mikrorechner K 1520 können für die dargestellte Sollwertberechnung maximal 10 Antriebe angeschlossen werden, die bei den zeitlichen Anforderungen im Walzwerk seriell vom Programm bedient werden können.

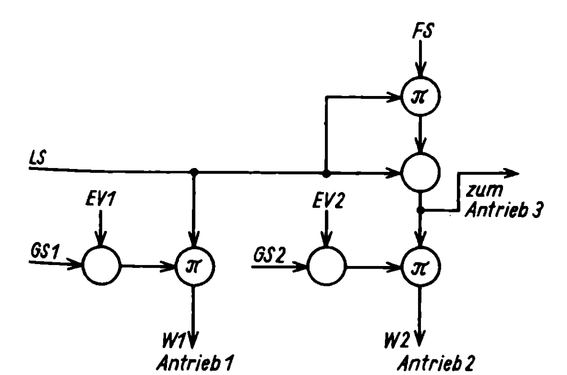


Bild 5.3.15
Schema der Sollwertberechnung

GS1, *GS2* Grundsollwert; *EV1*, *EV2* Einzelverstellung; *FS* Folgeverstellung; *LS* Leitsollwert; *W1*, *W2* Drehzahlsollwert

5.4. Leit- und Bedienebene

5.4.1. Bedienung und Signalisierung für Anlagen zentralgesteuerter Prozesse

Der Standard TGL 12468 legt die Anfahr- und Signalordnung für Anlagen zentralgesteuerter technologischer Prozesse fest [5.21]. Danach sind bei der Planung und Realisierung von Anlagen zentralgesteuerter technologischer Prozesse die Steuer- und Überwachungseinrichtungen so zu gestalten, daß eine einheitliche Anfahr- und Signalordnung in einem Projekt gewährleistet ist. Diese Anfahr- und Signalordnung muß die Sicherheit für Personen und Sachwerte in allen Prozeßsituationen gewährleisten. Eine funktionsbezogene Farbkennzeichnung, zusätzliche Kennzeichnung sowie Anwendung, Ausführung und Anordnung von Bedien- und Anzeigeelementen sind nach TGL 13097, TGL 30817, TGL 30108/01 und /02 vorzunehmen [5.23] bis [5.26].

Zur Hervorhebung von Betriebszuständen soll Blinklicht – zulässige Blinkfrequenzen 1 bis 8 Hz – angewendet werden. Für die Signalisierung von Betriebszuständen in Anlagen, wo Verwechslungen ausgeschlossen sind, darf Dauerlicht als alleinige Kennzeichnung verwendet werden. Bei Benutzung mehrerer Blinkfrequenzen in einer Anlage – es sind maximal drei Blinkfrequenzen zulässig – müssen sich diese so voneinander unterscheiden, daß Verwechslungen ausgeschlossen sind. Für Signalisation mit höherer Dringlichkeit ist die höhere Blinkfrequenz zu verwenden. Es wird ein Frequenzverhältnis von mindestens 2:1 empfohlen.

Störungen, die Gefährdungen hervorrufen können, und Notabschaltungen sind optisch und durch quittierbare akustische Signale in der zentralen Steuerstelle anzuzeigen.

Eine Zusammenfassung der Signale für mehrere Einrichtungen und Anlagenteile ist zulässig (Sammelmeldung), wenn dadurch das Erkennen von Gefahren und Störungen nicht beeinträchtigt wird.

Tafel 5.4.1 gibt die Farbkennzeichnung für die verschiedenen Signale an, wie sie nach TGL 12468 vorgeschrieben ist.

Tafel 5.4.1. Bedeutung von Farbe und Darstellung zur Signalisierung von Betriebszuständen gemäß TGL 12468

Farbe	Bedeutung der Farbe	Darstellung	Meldung
Rot	Gefahr Alarm Störung sofortiges Eingreifen erforderlich Gefährdung für Personen und/oder Sachwerte	Dauerlicht	– Gefahr, Alarm oder Störung – Notabschaltung
		Blinklicht	– Gefahr, Alarm oder Störung, nicht quittiert – Notabschaltung Grenzwert mit Gefahr für Leben oder Sachwerte überschritten
Gelb	Störung Warnung Achtung	Dauerlicht	Störung, Warnung Meßgröße hat einen kritischen Grenzwert erreicht – ungewollter Zwischenhalt von Stellgliedern automatischer Betrieb
		Blinklicht	Störung, Warnung, nicht quittiert Meßgröße hat einen kritischen Grenzwert erreicht, nicht quittiert Automatik gestört Sicherheitsabschaltung Handsteuerung gestört – Störung der Betriebsbereitschaft Störung des Anfahrzustands Anfahrwarnung

Tafel 5.4.1 (Fortsetzung)

Farbe	Bedeutung der Farbe	Darstellung	Meldung
Grün	Sicherheit	Dauerlicht	– Betriebsbereitschaft – Hilfseinrichtungen in Betrieb Steuerung auf örtliche Steuerstelle geschaltet
Weiß Glasklar Farblos Opal	Betriebszustände, deren Meldung nicht die Farben Rot oder Gelb erfordert	Dauerlicht	– Anlage eingeschaltet Anlage angefahren – Stellglied aufgefahren Betriebsbereitschaft – Hilfseinrichtungen in Betrieb Kennzeichnung von Förderwegen und Materialflüssen – Kennzeichnung von Symbolen für Aggregate, Maschinen, Stellglieder, Schriftfelder – Grenzwerte im Arbeitsbereich Bestätigung (Quittierung) von Schalthandlungen Automatik außer Betrieb – sonstige Betriebszustände
		Blinklicht	Anlage im Anfahrzustand Stellglied fährt auf Fehler in der Stellgliedbewegung „AUF" bei Verwendung mehrerer Blinkfrequenzen Anwahl – fehlerhafte Zustandsänderung bei Verwendung nur einer Anzeige
Blau	Betriebszustände, deren Meldung nicht die Farben Rot oder Gelb erfordert	Dauerlicht	– Anlage abgefahren – Stellglied zugefahren – Schleichgang
		Blinklicht	– Anlage im Abfahrzustand – Stellglied fährt zu Fehler in der Stellgliedbewegung „ZU" bei Verwendung mehrerer Blinkfrequenzen

Die Darstellung von Ziffern, Buchstaben und Zeichen in Anzeigen, z. B. in Leuchtschaltbildern, darf mit beliebigen Farben erfolgen. Zur Hervorhebung besonderer Informationen, z. B. bei Grenzwertüberschreitungen, können Blinkfrequenzen angewendet werden. Bei Darstellung von Informationen, die in Geräten oder Einrichtungen angezeigt werden und nicht zur Steuerung und Überwachung des Prozesses in der zentralen Steuerstelle, z. B. auf Leuchtschaltbildern, notwendig sind, ist es zulässig, von der Farbkennzeichnung nach TGL 12468 abzuweichen, z. B. bei der Anwendung von Lichtemitterdioden. Die Verwendung von zwei Farben zur Kennzeichnung von Betriebszuständen ist zulässig, wenn dadurch kein Widerspruch entsteht.

Für Bedien-, Steuer- und Überwachungseinrichtungen gelten die allgemeinen sicherheitstechnischen Forderungen nach TGL 30101. Bei Anwendung der zentralen Steuerung darf bei Vorliegen einer Gefährdung das Anfahren erst möglich sein, wenn ein Warnsignal (akustisch und/oder optisch) gegeben wurde und die Anfahrbereitschaft vorliegt. Nur bei Anlagen, mit deren Anlaufen keine Gefährdung, z. B. durch bewegte Maschinenteile, verbunden ist oder die durch entsprechende Schutzmaßnahmen gesichert und dem Zugriff des Bedienungspersonals im Betriebszustand entzogen sind oder die von der zentralen Steuerstelle zuverlässig einzusehen sind, dürfen Warnsignale entfallen.

Sind Anlagenteile bei Wahrnehmung von Warnsignalen nicht anfahrbereit, muß eine Anfahrverhinderung durch Notabschaltung oder örtliche Steuerung möglich sein.

Wird ein zentralgesteuerter Antrieb auf örtliche Steuerung umgeschaltet, muß der Antrieb so gesichert sein, daß das Anfahren von der zentralen Steuerstelle aus nicht möglich ist und Gefährdungen ausgeschlossen sind. Die Umschaltung auf örtliche Steuerung muß in der zentralen Steuerstelle angezeigt werden. Diese Anzeige kann entfallen, wenn der Betriebszustand von der zentralen Steuerstelle aus erkennbar ist. Eine örtliche Notabschaltung muß sowohl bei zentraler als auch bei örtlicher Steuerung wirksam sein. Die Bedienelemente der Notabschaltung müssen von allen Arbeitsplätzen in der Anlage aus erreichbar sein. Die Notabschaltung ist bei kontaktbehafteten Schaltgliedern in Ruhestromschaltung auszuführen. Arbeitsstromschaltungen sind nur innerhalb einer räumlich zusammenhängenden Anlage zulässig, wenn die Speisespannung

Wartenmeldung			LED-Anzeige auf der BG						Zustandsmeldung
ZU	AUF (EIN)	STÖ	STÖ rt	STÖ el rt	VOR ORT gn	AUF EIN gb	ZU gn	Drehmom. STÖ rt	
⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	Antrieb AUS, Automatikbetrieb; Antrieb in Zwischenstellung, Automatikbetrieb
⊗	⊗	●	●	⊗	●	⊗	⊗	⊗	Antrieb AUS, Vor-Ort-Betrieb; Antrieb in Zwischenstellung, Vor-Ort-Betrieb
⊗*	●	⊗	⊗	⊗	⊗	●	⊗	⊗	Antrieb EIN, Automatikbetrieb; Antrieb in Endstellung AUF, Automatikbetrieb
⊗*	●	●	●	⊗	●	●	⊗	⊗	Antrieb EIN, Vor-Ort-Betrieb; Antrieb in Endstellung AUF, Vor-Ort-Betrieb
⊗	⊗	f2	f2	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	Antrieb durch Störung ausgefallen, Automatikbetrieb
⊗	⊗	●	●	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	Störung bei anstehendem Fehler quittiert
⊗	⊗	f2	f2	●	⊗	⊗	⊗	⊗	Antrieb durch elektrische Störung ausgefallen
⊗	⊗	●	●	●	⊗	⊗	⊗	⊗	Störung bei anstehendem elektrischem Fehler quittiert
⊗	⊗	●	●	●	●	⊗	⊗	⊗	Antrieb nicht schaltfrei, elektrische Störung, Vor-Ort-Betrieb
⊗*	f1	⊗	⊗	⊗	⊗	f1	⊗	⊗	Antrieb fährt AUF, Automatikbetrieb
⊗*	f1	●	●	⊗	●	f1	⊗	⊗	Antrieb fährt AUF, Vor-Ort-Betrieb
⊗	⊗	f2	f2	⊗	⊗	⊗	⊗	●	Antrieb durch Drehmomentstörung ausgefallen
⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	●	Drehmomentstörung quittiert
⊗*	●	●	●	●	⊗	●	⊗	⊗	Endstellung AUF, elektr. Störung, Automatikbetrieb
⊗*	●	●	●	●	●	●	⊗	⊗	Endstellung AUF, elektr. Störung, Vor-Ort-Betrieb
⊗*	●	●	●	⊗	⊗	●	⊗	⊗	Endstellung AUF, Antrieb nicht schaltfrei

⊗ dunkel ● Dauerlicht f1 f2 * Zustandsmeldung für ZU in analoger Weise

Bild 5.4.1. Signalisierungsschema für Ein-Richtungs- und Zwei-Richtungs-Antriebe

überwacht und bei deren Ausfall automatisch die Notabschaltung bewirkt wird. Kontaktlose Schaltungen sollen zusätzlich so ausgeführt werden, daß durch Selbstüberwachung oder Redundanz eine Notabschaltung auch im Fehlerfall gewährleistet wird. Weitere Festlegungen s. TGL 12468.

Bild 5.4.1 zeigt das Signalisierungsschema für Ein-Richtungs- und Zwei-Richtungs-Antriebe. Es sind die Zustandssignale auf der Baugruppe und die abgegebenen Meldungen für die zentrale Anzeige auf der Warte angegeben.

Beim Zwei-Richtungs-Antrieb sind zwei Blinkfrequenzen ($f2 = 2f1$) für die Zustandsmeldungen vorhanden. Mit der Frequenz $f1$ wird der Lauf des Antriebs angezeigt. Ist die Endlage erreicht, wird auf Dauerlicht umgeschaltet.

5.4.2. Zentrale Fehlermeldeeinrichtungen

Zentrale Fehlermeldeeinrichtungen sind in umfangreichen Automatisierungsanlagen (z. B. Prozeßsteuerung für große Kraftwerksblöcke) notwendig, um durch Informationsverdichtung einen besseren Überblick über den Zustand der Anlage zu gewinnen [5.1]. Folgende Informationen müssen erkennbar sein:

- Welcher Fehler ist zuerst aufgetreten?
- Welcher Fehler ist neu hinzugekommen?
- Welche Fehler sind bereits quittiert?
- Welche Fehler sind behoben worden?

Im Rahmen verdrahtungsprogrammierter Steuerungen gelangen hauptsächlich die folgenden Signalisationsarten zum Einsatz:

Erstwertsignalisierung

Es wird nur der zuerst einlaufende Fehler angezeigt. Der Fehler muß quittiert werden, erst danach wird ein weiterer Fehler erfaßt. Alle in der Zwischenzeit eingelaufenen Fehler werden unterdrückt. Das Schaltungsprinzip wird im Bild 5.4.2 gezeigt.

Neuwertsignalisierung

Das Schaltungsprinzip der Neuwertsignalisierung ist im Bild 5.4.3 mit dem dazugehörigen Zeitdiagramm dargestellt. Jeder einlaufende Fehler wird gespeichert und als Neuwert durch Blink-

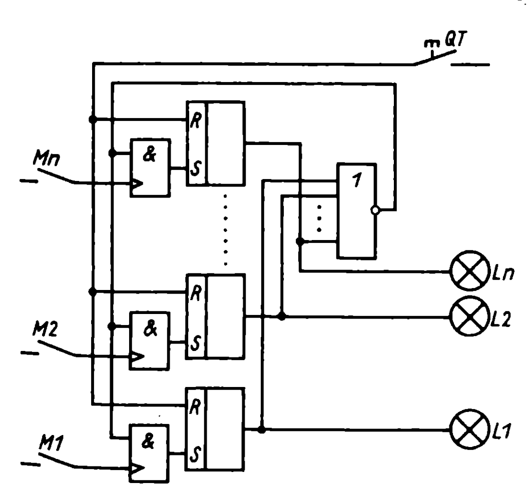


Bild 5.4.2
Prinzip der Erstwertsignalisierung
M1 bis *Mn* Fehlersignal; *QT* Quittiertaste; *L1* bis *Ln* Fehleranzeige

licht angezeigt. Bei Quittierung der Meldung und weiter anliegendem Fehler erscheint Dauerlicht. Die Meldung erlischt bei Beseitigung des Fehlers.

Häufig werden beide Signalisierungsarten in kombinierter Form verwendet. Zur Verringerung des Aufwands können die Fehlermeldungen zu Gruppen zusammengefaßt werden. Dabei wird nur angezeigt, in welcher Gruppe der Fehler auftritt. Eine genaue Lokalisierung erfolgt dann dezentral an anderer Stelle, wo das Gruppensignal gebildet wurde. Vorteilhaft ist bei umfangreichen Automatisierungsanlagen eine Einteilung der Fehler nach Fehlerarten und Fehlerorten. Durch eine gestaffelte Neuwertsignalisierung kann hierbei die Anzahl der Meldeleuchten beträchtlich gesenkt werden. Bild 5.4.4 zeigt die Zusammenschaltung einzelner Neuwertsignalisierungseinheiten nach Bild 5.4.3 zu einer gestaffelten Fehlermeldung für eine Fehlerart. Eine derartige Schaltung ist für jede Fehlerart aufzubauen, d. h., für jede Fehlerart wird eine Quittierung benötigt. Die einlaufenden Fehlermeldungen einer Fehlerart werden durch disjunktive Verknüpfung zusammengefaßt und als Fehlerart angezeigt. Die Fehlerorte werden durch disjunktive Verknüpfung vor der Lampenansteuerung zusammengefaßt.

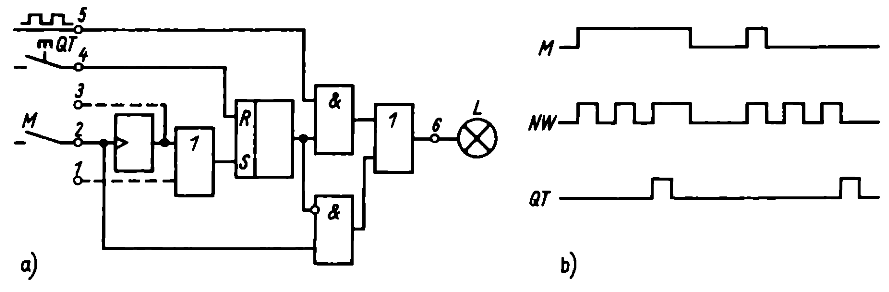


Bild 5.4.3. Neuwertsignalisierung
a) logische Schaltung für ein Fehlersignal; b) Zeitdiagramm
M Geber für Fehlersignal; *QT* Quittiertaste; *L* Anzeige für Neuwert (*NM*)

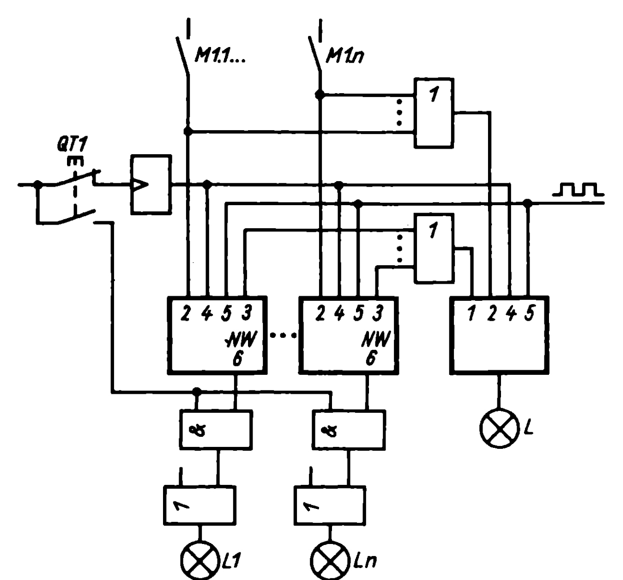


Bild 5.4.4
Gestaffelte Neuwertsignalisierung
M1.1 bis *M1.n* Kontakte gleicher Fehlerart; *QT1* Abfrage und Quittiertaste je Fehlerart; *L1* bis *Ln* Anzeige Fehlerort; *L* Anzeige Fehlerart; *NW* Neuwertsignalisierungseinheit

5.4.3. Beispiele für Bedienung und Überwachung

Für die Vor-Ort-Steuerung werden Steuerkästen benutzt, die mit den notwendigen Betätigungselementen ausgerüstet sind. Zur Zustandssignalisierung dienen Meldeleuchten. Bei zentralgesteuerten Anlagen ist für die Vor-Ort-Steuerung eine funktionelle Trennung des Antriebs von der übergeordneten Steuerungsanlage durch Umschaltung notwendig. Geeignet für die Umschaltung sind Schlüsseltaster, womit gleichzeitig eine unbefugte Betätigung vermieden werden kann.

Durch Ausbau geeigneter Leerkästen (s. Abschn. 5.1.2.5.) ist ein wahlweiser Ausbau nach den Anforderungen der Steuerungsanlage möglich.

Für größere Prozeßabschnitte werden Steuertafeln oder Steuerpulte verwendet, die nach Anzahl der Betätigungs- und Anzeigeelemente ausgebaut werden (s. Bild 5.1.18).

Zu unterscheiden sind dezentral- und zentralgesteuerte Anlagen. Bei dezentralgesteuerten Anlagen werden die Leitstände mit direkter Prozeßsicht in unmittelbarer Nähe des Prozeßablaufs aufgestellt. Die Größe des Pultes wird vom Umfang des Prozeßabschnitts bestimmt und hat allgemein eine spezielle Belegung.

Zentralgesteuerte Anlagen verfügen über Leitzentralen, wo alle Bedienelemente und Anzeigen zusammengefaßt werden. In der Leitzentrale werden alle für die Prozeßübersicht notwendigen Informationen dargestellt, die eine Prozeßführung ermöglichen müssen. Hierzu kommen die für die Prozeßführung notwendigen Bedienelemente (Taster, Leuchttaster, Kommandoschalter), die auf Steuerpulten mit einem oder mehreren Arbeitsplätzen verteilt sind (s. Bild 5.1.19).

Die Anzeigen informieren den Bediener
- über den Zustand der Anlage, wie Schalterstellungen, Positionen, Meßwerte, und
- über Ereignisse, z. B. Störungen, Grenzwertüberschreitung, Materialverläufe.

Die Zustandsgrößen werden fortlaufend aktualisiert, ihre Werte stehen dauernd zur Verfügung. Mit Eingriffen kann der Bediener den Prozeß beeinflussen, er kann Abläufe ein- oder ausschalten und Soll- oder Grenzwerte vorgeben.

Mit Mitteln der Mikroelektronik und Bildschirmtechnik sind neue Wege zur Anlagenüberwachung und zentralen Bedienung möglich. Umfangreiche Industrieanlagen erfordern eine sichere Bedienung und eindeutige Überwachung der Steuerungsanlage. Die auftretenden Informationsmengen können auf Bildschirmen von quasigrafischen Farbsichtgeräten übersichtlich und geordnet dargestellt werden. Es ist zu unterscheiden zwischen
- Informationssystemen, die nur zur Anzeige von Schalt- und Prozeßzuständen dienen, und
- Bediensystemen, die neben der Bilddarstellung eine Bedienung der Aggregate über eine Pulttastatur erlauben.

Während im ersten Fall Bildschirm und angeschlossene Datenperipherie, wie Datendrucker o. dgl., nur zur Informationsdarstellung dienen und die Bedienung über parallel dazu vorhandene Bedienelemente erfolgt, werden im zweiten Fall die Antriebe über die Bildschirm-Bedientastatur bedient. Über eine Tastatur wird eines der auf dem Bildschirm sichtbaren Aggregate angewählt und durch Funktionstaste bedient. Bei dem vorhandenen Bildbezug wird die Bedienung sehr erleichtert. Es wird sichtbar, wohin in der Anlage die Information oder der Stellbefehl fließen. Durch die Einbindung der Werte von Prozeßzuständen in das statische Prozeßschema erkennt der Bediener sofort, auf welches Aggregat sich die Anzeige bezieht.

Den Aufbau einer derartigen Informationszentrale mit audatec (Anlagensystem des KAAB zur Automatisierung technologischer Prozesse) zeigt Bild 5.4.5. Sie besteht aus einem Pult mit einer speicherprogrammierbaren Einrichtung (Pultsteuerrechner *PSR*), einer Bedientastatur (*BDT*) und einem bzw. mehreren Farbsichtgeräten (*MON*). Außerdem ist der Anschluß peripherer Geräte zum Datenausdruck, zur Speicherung und Dateneingabe möglich. Die Kopplung der Informationszentrale mit den prozeßnahen Basiseinheiten erfolgt über eine schnelle serielle Datenübertragung, die gemäß Bild 5.4.5 zweifach ausgeführt ist. Die Steuerung des Datenverkehrs geschieht durch die Datensteuerstationen *DSS*.

Die Kommunikation mit dem Prozeß erfolgt über die Bedientastatur, die neben einer Standardtastatur für den Dialog prozeßorientierte Funktionstasten enthält. Damit sind Übersichts- und Detaildarstellungen technologischer Anlagen und Schaltanlagen in Form von Anlagenschemata,

Meßwert-, Alarm-, Zustands- und Betriebsprotokollen sowie Kurven- und Balkendiagrammen mit Einblendung von Prozeßdaten möglich.

Der Gesamtprozeß wird in Übersichts- und Detailbilder aufgeteilt und dargestellt. Jedes einzelne Bild besteht aus statischen und dynamischen Teilkomponenten, die in Bilddateien gespeichert werden.

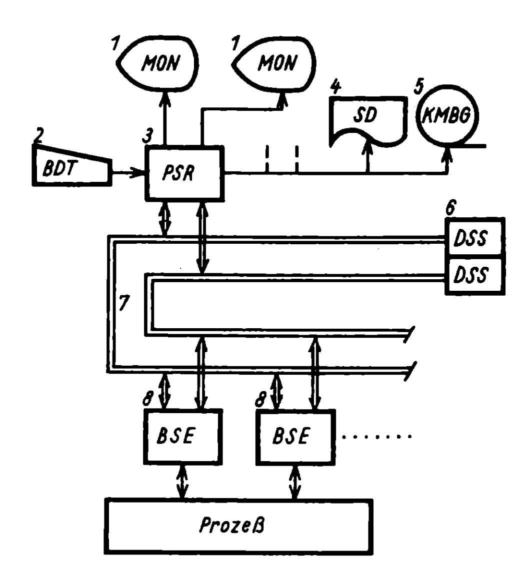


Bild 5.4.5
Aufbau einer Informationszentrale
1 Farbmonitor; *2* problemorientierte Bedientastatur; *3* Pultsteuerrechner; *4* Seriendrucker; *5* Kassettenmagnetbandgerät; *6* redundante Datensteuerstation; *7* redundante serielle Datenbahn; *8* Basiseinheiten der prozeßnahen Ebene

Das statische Bild ist mit alphanumerischen und grafischen Darstellungen aufgebaut, es enthält keine dynamischen Prozeßgrößen und wird in Festwertspeichern abgelegt. Für den Bildaufbau können passende Symbole gezeichnet und als Konstruktionselemente [Bild 5.4.6 (s. Bildtafel hinter S. 208), Bildschirmraster, 32 × 64 Zeichen je 7 × 9 Bildpunkte] abgespeichert werden. Mit Hilfe der Symbolelemente wird das gewünschte Anlagenschema auf dem Bildschirm konstruiert.

Die prozeßabhängigen dynamischen Informationen, wie Meß- und Grenzwerte, Schaltzustände, Zustandsänderungen des Signalverlaufs und Materialflusses, werden in Operativspeichern zwischengespeichert und in das statische Bild eingeblendet. Beispiele für die Darstellung einer Schaltanlage und das Schema einer Walzstaffel zeigen die Bilder 5.4.7 und 5.4.8 (s. Bildtafel hinter S. 208).

Durch die Möglichkeit des bidirektionalen Datentransfers können Anlagenparameter, wie Führungsgrößen und Schaltzustände, vom Bedienenden zur Prozeßführung vorgegeben werden.

Übersichtsbilder enthalten in symbolischer Darstellung mit Funktionsgruppenbezeichnung größere Teilkomplexe mit Einblendung der Betriebszustände. Warn- und Gefahrenmeldungen werden durch Farbumschlag – Warnung: Gelb, Gefahr: Rot – gekennzeichnet. Aktuelle Alarme erscheinen in der Farbe blinkend und können durch Quittierung in Dauerlicht versetzt werden. Zur Störungsanalyse werden die Übersichtsbilder aufgelöst in Detaildarstellungen. Bild 5.4.9 (s. Bildtafel hinter S. 208) zeigt ein Walzgerüst mit dem zugehörigen Antriebssystem als Einzeldarstellung aus dem Übersichtsbild 5.4.8. So ist z. B. aus dem Übersichtsbild eine Störung des Gerüstes *10* erkennbar (Darstellung in Rot), die im Bild 5.4.9 als Störung in der Ölflutstation *180* ausgewiesen wird und durch eine weitere Detaillierung der Station *180* eindeutig bestimmt werden kann. Die darstellbaren Ausschnitte stehen in einem Speicher abrufbar zur Verfügung und erlauben dem Bediener eine zielgerichtete Störungsanalyse. In dieser Darstellungsform überwiegen die dynamischen Prozeßinformationen. Sie bestehen aus

- farblicher Kennzeichnung der Zustände
- numerischer Meßwertanzeige analoger Meßstellen
- Meßwertanzeige als Balkendiagramm analoger Meßstellen
- Kennzeichnung der Schaltzustände binärer Meßstellen
- Meßstellenbezeichnungen.

Zur weiteren Detaillierung der binären oder analogen Meßstellen ist über die Bedientastatur allgemein die Anwahl jeder einzelnen Meßstelle möglich, womit alle Parameter der angewählten Meßstelle dargestellt werden können.

Die Anlagenübersicht wird durch derartige Informationsanlagen wesentlich verbessert. Die Fehlererkennung und -analyse zur Ursachenermittlung werden erleichtert. Es können zeitfolgerichtige Notierungen auftretender Fehler vorgenommen werden sowohl am Bildschirm als auch im Protokoll, so daß der Verlauf einer Störung registiert wird und für die Auswertung zur Verfügung steht. Die zeitfolgerichtige Signalerfassung erfolgt allgemein mit einer Auflösung von 10 ms. Damit können auftretende Störungssignale mit einem Zeitunterschied von $\geqq 10$ ms zeitfolgerichtig registriert werden. In kürzeren Zeitabständen < 10 ms auftretende Störungen werden zeitgleich erfaßt.

Im Bild 5.4.10 (s. Bildtafel hinter S. 208) ist ein Bildschirmprotokoll dargestellt, aus dem man durch die Farbgebung gekennzeichnete Warn- und Störungsmeldungen mit Uhrzeit, technologischer Gruppenbezeichnung, Meßstellennummer und Klartext zur Ursache entnehmen kann.

Der Bildschirm kann für weitere Anlagendiagnosen genutzt werden. So können z. B. die Fortschaltkriterien einer Taktkette überprüft werden; dabei werden Fortschaltkriterien als Meßwerte an den Pultsteuerrechner geführt und in einem Programmablaufplan oder einer Tabelle auf dem Bildschirm abrufbar dargestellt. Dem Bedienenden wird damit die Übersicht über die anliegenden Fortschaltkriterien gegeben bzw. bei Störung das fehlende Signal angezeigt, wobei sich eine weitergehende Analyse zur Ursachenermittlung, z. B. Meßstellenanzeige, Antriebsanwahl, anschließen können.

Bei derartigen Anlagen erfolgt eine Verschmelzung der Prozeßsteuerungsanlage mit der Automatisierungsanlage; d. h., es wird nicht getrennt zwischen der Aufgabe der Steuerungsanlage und der Prozeßführung. Voraussetzung für die Anwendung dieser Technik ist eine eindeutige und durchgängige Systematisierung und bildschirmgerechte Bezeichnung aller Meßstellen und darzustellenden Einrichtungen. Zur weiteren Vertiefung sei auf die Spezialliteratur verwiesen [5.4] [5.41] bis [5.49].

5.5. Stromversorgung

5.5.1. Übersicht

Bei der Stromversorgung von Prozeßsteuerungsanlagen sind zentrale und dezentrale Stromversorgungseinrichtungen zu unterscheiden.

Unter dezentralen Stromversorgungseinrichtungen wird verstanden, daß die Anlagenteile (z. B. Schränke oder Gestelle) direkt an das Netz angeschlossen werden. Die interne Versorgung der Steuerungseinrichtung mit den notwendigen Spannungen erfolgt durch Netzteile in den zu versorgenden Gefäßen. Die Anschlußspannung beträgt 220 V WS oder 3×380 V DS.

Eine zentrale Stromversorgung ist die Versorgung mehrerer Schränke oder einer ganzen Anlage mit der Betriebsspannung der Steuerungsanlage, die bei ursalog 4000 z. B. 24 V GS $\pm$ 25% beträgt. Die Betriebsspannung von 24 V ist mit der Einführung vollelektronischer Schaltungen für die Prozeßsteuerung verbunden. Ältere Steuerungssysteme, z. B. Semielektronik, wurden mit 60 V GS betrieben. Relaissteuerungen haben als Steuerspannung auch 220 V GS oder WS.

Die Netzspannung beträgt i. allg. 3×380 V DS + 10%, −15%. Bei der Netzspannungstoleranz, die von der Energieversorgung gewährleistet wird und auch in der Anlage an der Versorgungsschiene zu garantieren ist, kann die Spannungsversorgung ohne Stabilisierungsaufwendungen

aufgebaut werden. Es war ein Ziel bei der Entwicklung elektronischer Steuerungssysteme, die Betriebsspannung aus einem unstabilisierten Netz abzuleiten.

5.5.2. Dezentrale Stromversorgung

Für eine dezentrale Stromversorgung werden mit dem Baugruppensystem auch die notwendigen Stromversorgungsgeräte bereitgestellt. Das betrifft Netzgeräte oder Stromversorgungsmodule, die aus der Netzspannung die für die Gerätetechnik notwendigen Spannungen erzeugen. Die Versorgungssicherheit wird durch das Betriebsnetz bestimmt. Höhere Spannungen (z. B. 48 V für die Versorgung peripherer Kontakte) können ebenfalls entsprechenden Netzgeräten entnommen werden. Stromversorgungsmodule werden in Stromversorgungskassetten zur Anlagenstromversorgung für jede Steuereinrichtung mit den notwendigen Überwachungseinrichtungen zusammengefaßt. Stromversorgungsmodule werden dann vorteilhaft, wenn mehrere Spannungsebenen mit unterschiedlicher Leistung notwendig sind. Das trifft beim Einsatz speicherprogrammierbarer Steuereinrichtungen zu. Zum Erreichen eines günstigen Wirkungsgrades werden diese Netzteile getaktet ausgeführt. Die Stromversorgungsgeräte für die Steuereinrichtungen mit ursalog 4000 und ursalog 5020 sind im Abschnitt 4. näher beschrieben.

5.5.3. Zentrale Stromversorgung

Für die Stromversorgung mehrerer Felder oder Schränke werden Stromversorgungseinrichtungen größerer Leistung notwendig, die in getrennten Gefäßen aufzubauen sind. Bild 5.5.1 zeigt eine solche Einrichtung, die aus dem Transformator mit einer Gleichrichterbrücke zur Umformung 3 × 380 V, 50 Hz in +24 V GS und den Sicherungen für die Stromkreisteilung besteht. Die Schal-

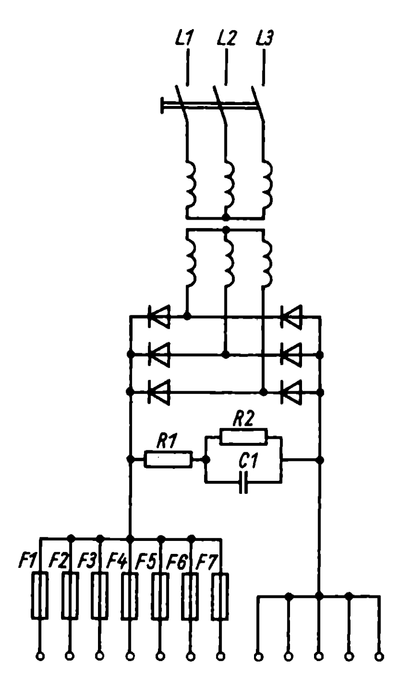


Bild 5.5.1
Stromversorgung für mehrere Felder oder Schränke mit 24 V GS

tungskombination *R1*, *R2*, *C1* dient als Trägerspeichereffekt-(TSE-)Beschaltung für die Diodenbrücke [5.28]. Die konstruktive Ausführung ist im Abschnitt 5.1. als Beispiel beschrieben.

Bei der Auslegung ist zu beachten, daß die Leerlaufspannung der oberen zulässigen Spannung (24 V +25 %) bei oberer Netzspannung entspricht. Das Leitungsnetz ist so auszulegen, daß auch bei unterer Spannungstoleranz und größter Steuerentfernung die untere Spannungstoleranz von 24 V −25 % nicht unterschritten wird.

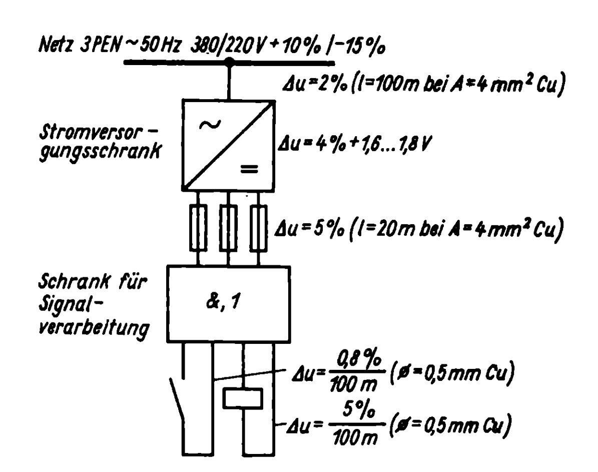


Bild 5.5.2. Verteilung der Spannungsabfälle bei zentraler Stromversorgung mit 24 V GS

Beispiel: Bei einer Steuerungsanlage können die Verteilungen der Spannungsabfälle bei Nennbelastung nach Bild 5.5.2 angenommen werden. Die Stromversorgung wird so ausgelegt, daß bei oberer Spannungstoleranz des Netzes die maximal zulässige Steuerspannung (30 V GS) im Leerlauf erreicht wird. Damit ergeben sich folgende Spannungsverhältnisse:

– obere Netzspannung (+10 %)	$U_{d\,max}$	= 30 V GS	Leerlaufspannung
Nennspannung (380 V)	U_d	= 27,3 V GS	
– untere Netzspannung (−15 %)	$U_{d\,min}$	= 23,3 V GS	

Bei Nennbelastung treten 11 % Spannungsabfall und der Spannungsabfall an den Gleichrichterdioden (U_D) auf. Das ergibt einen Spannungsabfall bei minimaler Netzspannung

$$\Delta u = U_{D\,min} \cdot 0{,}11 + U_D \approx 4{,}6 \text{ V} .$$

Damit beträgt die minimale Spannung am Eingang des Feldes der Signalverarbeitung 18,7 V. Da die minimale Betriebsspannung (24 V −25 %) 18 V erreichen darf, bleibt ein Rest von 0,7 V für den Spannungsabfall im Feld.

Soll vom Feld ein Koppelrelais in der Schaltanlage angesteuert werden, so ist bei der Auslegung der Anschlußleitung die minimale Ansprechspannung des Relais zu beachten. Zum Beispiel hat das Relais 2 RH 01 des VEB KEAW bei erweitertem Spannungsbereich (Sonderausführung) eine minimale Ansprechspannung von U_N − 35 % (15,6 V), woraus sich bei einem Spannungsabfall von 5 % je 100 m (s. Bild 5.5.2) eine Entfernung von etwa 200 m ergibt. Bei größerer Entfernung muß ein höherer Querschnitt verlegt werden. Die maximale Entfernung von Signalgebern wird vom Hersteller der Steuerungssysteme allgemein in Abhängigkeit anderer Gesichtspunkte vorgeschrieben und ist vorrangig nicht vom auftretenden Spannungsabfall abhängig, da der minimale Eingangspegel für das H-Signal kaum unterschritten wird (bei ursalog 4000 9,3 V). Wie das Beispiel zeigt, tritt der größte Spannungsabfall zwischen dem Gleichrichter und dem Schrank der Signalverarbeitung auf der Spannungsebene 24 V GS auf. Der Stromversorgungsschrank ist demzufolge möglichst in Nähe der Gefäße mit der Signalverarbeitung aufzustellen. Die Verteilung der Spannungsabfälle ist bei der Projektierung zu berücksichtigen.

Bild 5.5.3 zeigt die Einspeisung für einen Schrank der Signalverarbeitung. Der Eingang wird gegen Überspannung geschützt, und für die Stromkreissicherung werden bevorzugt Sicherungsautomaten eingesetzt. Die nachgeschalteten Sicherungen *F1* bis *F3* befinden sich auf einer steckbaren Sicherungsbaugruppe. Hinter der Sicherung wird die Spannung überwacht, und bei Spannungsausfall erfolgt eine Meldung mit Anzeige auf der Baugruppe. Der Kondensator *C1* stützt bei Kurzschlüssen paralleler Stromkreise den durch die Diode *V2* gegen Energierückspeisung gesicherten Stromkreis. Damit wird erreicht, daß bei Kurzschlüssen in parallelen Stromkreisen keine Fehlfunktionen entstehen, d. h., die Spannung muß so gestützt werden, daß die Spannungsabsenkung bei parallelen Kurzschlüssen noch keine Störung (z. B. Wechsel des Zustands eines Speichers) ergibt. Die Auslegung ist den Daten des Steuerungssystems, der verwendeten Sicherungsautomaten und den Stromversorgungseinrichtungen anzupassen. Im Bild 5.5.4 ist der Logikplan einer Sicherungsbaugruppe für einen Sicherungszweig dargestellt. Mit *E* und *A* sind der Ein-

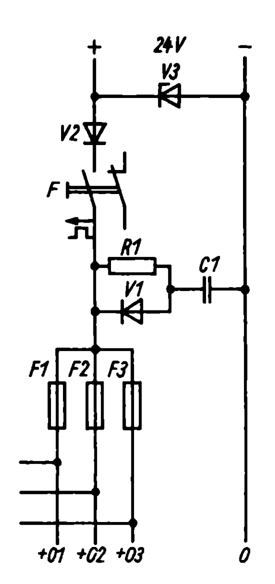


Bild 5.5.3. Eingangsschaltung für die Einspeisung eines Schrankes mit 24 V GS

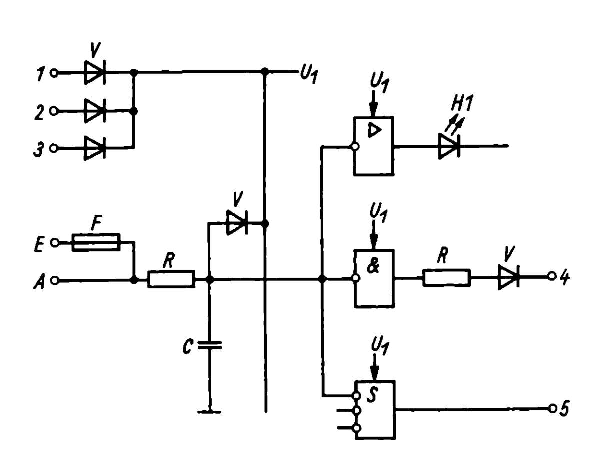


Bild 5.5.4. Überwachung einer Sicherung auf einer Baugruppe

und Ausgang des abzusichernden Stromkreises bezeichnet. Über den Widerstand *R* wird die Spannung an die Logikelemente zur Bildung der Überwachungssignale geführt, und bei vorhandener Spannung sind die Ausgänge Null. Fehlt die Spannung, so entsteht an den Ausgängen *4* und *5* ein statisches und ein dynamisches Signal, wobei die LED-Anzeige *H1* den Sicherungsausfall auf der Baugruppe anzeigt. An die Eingänge *1, 2, 3* kann von drei verschiedenen Spannungsquellen eine Überwachungsspannung angelegt werden, so daß eine Meldung des Sicherungsausfalls mit hoher Sicherheit gewährleistet werden kann.

Bild 5.5.5 zeigt den Aufbau der Überwachung bei einer umfangreichen Prozeßsteuerung (z. B. im Kraftwerk). Die Sicherungsbaugruppen für die Steuerstromkreise erhalten die Versorgungsspannung für die Überwachung von einer getrennten Sicherungsbaugruppe, die im Gefäß mit angeordnet ist.

Die Sicherungsbaugruppen erhalten neben der Versorgungsspannung aus dem Schrank eine zweite Versorgung von einem getrennten Sicherungszweig aus dem Stromversorgungsschrank, der wiederum getrennt überwacht wird. Damit ist eine eindeutige Überwachung und Fehlerlokalisierung möglich.

Bestehen hohe Anforderungen an die Ausfallsicherheit, d. h., es ist eine ausfallsichere Steuerung zu gewährleisten, die unabhängig von der Netzspannung ist, so kann eine doppelte Einspeisung vorgesehen werden. Die Einspeisung ist dann aus unabhängigen Netzen oder von Batterien abzuleiten (s. Abschn. 5.5.4.). Die Einspeisung durch zwei Versorgungsspannungen, die über Dioden entkoppelt werden, ist im Bild 5.5.6 dargestellt. Gegenüber der einfachen Einspeisung sind die Entkopplungsdioden zur Verwendung von Rückspeisungen notwendig. Damit wirkt jeweils die Stromquelle, die die höhere Spannung hat. Beide Stromquellen müssen für die volle Leistung ausgelegt werden.

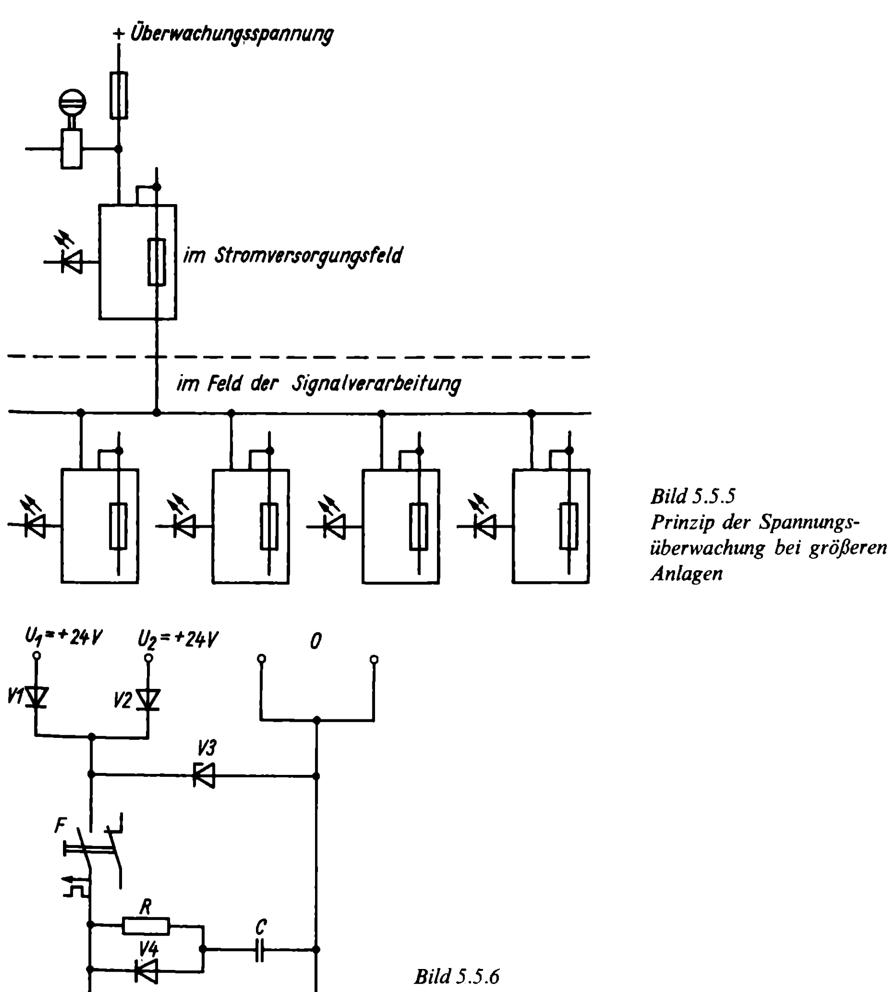


Bild 5.5.5
Prinzip der Spannungsüberwachung bei größeren Anlagen

Bild 5.5.6
Einspeisung durch zwei Versorgungsspannungen, Entkopplung durch Dioden

5.5.4. Unterbrechungsfreie Anlagenstromversorgung

Die Steuerungsanlage benötigt in einigen Einsatzfällen auch bei Ausfall des öffentlichen Energieversorgungsnetzes eine Speisespannung, um Havarien oder Ausfälle von Daten und Signalen zu vermeiden. Entsprechend den Anforderungen der Verbraucher sind auch die Forderungen, die an die Notstromversorgung gestellt werden, unterschiedlich.

Man kann folgende Gruppen der Anforderungen an die Versorgungssicherheit unterscheiden:

a) Anlagen, die nach Ausfall der Versorgungspannung noch 10 bis 20 s Spannung an die Verbraucher liefern
b) Anlagen, die bis zur Bereitstellung der Ersatzspannung 1 bis 3 s benötigen
c) Anlagen, die eine Versorgungslücke von 300 ms aufweisen
d) wie c) mit Versorgungslücken von mehreren Millisekunden
e) Anlagen, die eine unterbrechungsfreie Spannungsversorgung gewährleisten.

Bis zur Einführung der Leistungselektronik wurden als Ersatzstromquellen fast ausschließlich Maschinenaggregate benutzt. Für eine unterbrechungsfreie Gleichspannungsversorgung für Steuerungsanlagen werden vorrangig Batterieanlagen eingesetzt.

Anlagen der Gruppe a) werden durch Schwungradaggregate realisiert, die bei Ausfall des öffentlichen Versorgungsnetzes die erforderliche Spannung durch ihre kinetische Energie noch 10 bis 20 s lang liefern. Bei der Gruppe b) genügt es, wenn nach Ausfall der Netzspannung ein Generator automatisch anläuft. Bei der Gruppe c) ist eine Umschaltung durch mechanischen Schalter auf ein anderes Netz möglich, bzw. es wird ein laufender Generator zugeschaltet. Bei der Gruppe d) ist die Umschaltung als Schnellumschaltung elektronisch auszuführen, die in einigen Millisekunden erreicht werden kann. Für eine unterbrechungsfreie Stromversorgung wurden spezielle Wechselrichter entwickelt, die im Zusammenhang mit Batterieanlagen eingesetzt werden. Die Einsatzgebiete sind durch die Notwendigkeit einer unterbrechungsfreien Drehstromschiene gegeben, an die auch die Steuerspannung für die Steuerungsanlage angeschlossen wird [5.28].

Für die Stromversorgung von Prozeßsteuerungsanlagen ist aus Anforderungen des technologischen Prozesses über die Notwendigkeit des Einsatzes einer unterbrechungsfreien Stromversorgung oder anderer Maßnahmen zur Überbrückung kurzer Spannungsausfälle zu entscheiden. Bestimmte technologische Prozesse (z. B. Kraftwerke) erfordern eine unterbrechungsfreie Stromversorgung, um bei Ausfall gefährdete Aggregate in einen sicheren Zustand überzu-

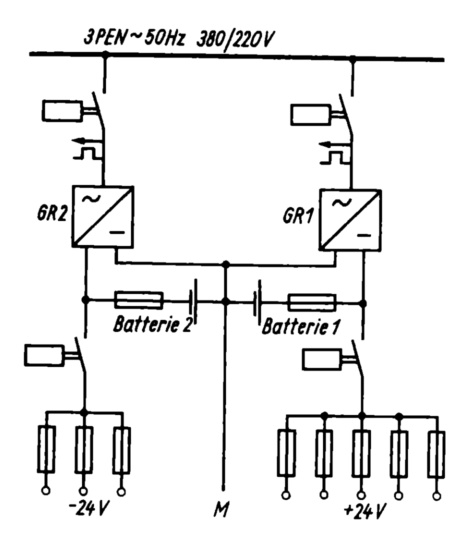


Bild 5.5.7
Anlagenaufbau der Stromversorgung bei Batteriespeisung

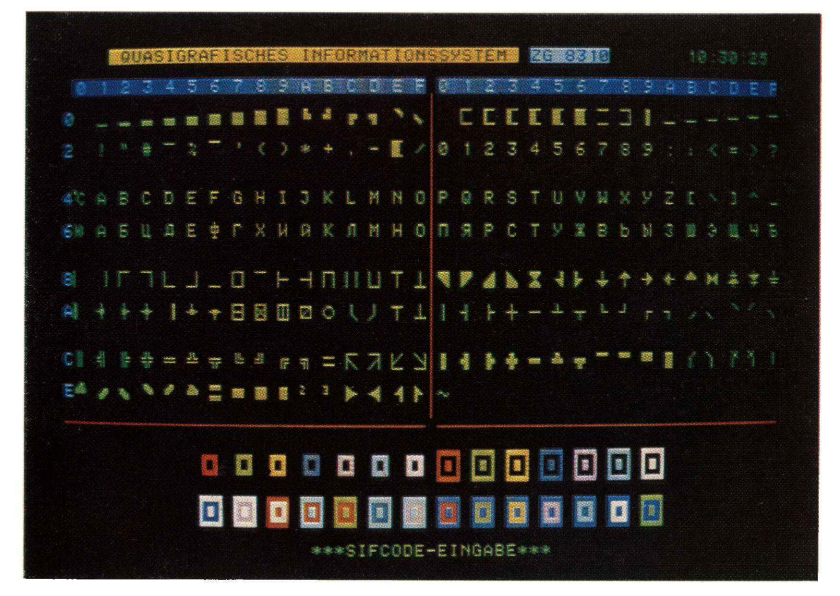


Bild 5.4.6. Bildelemente zum Aufbau von Symbolbildern
(Aufnahme: *Fahr*)

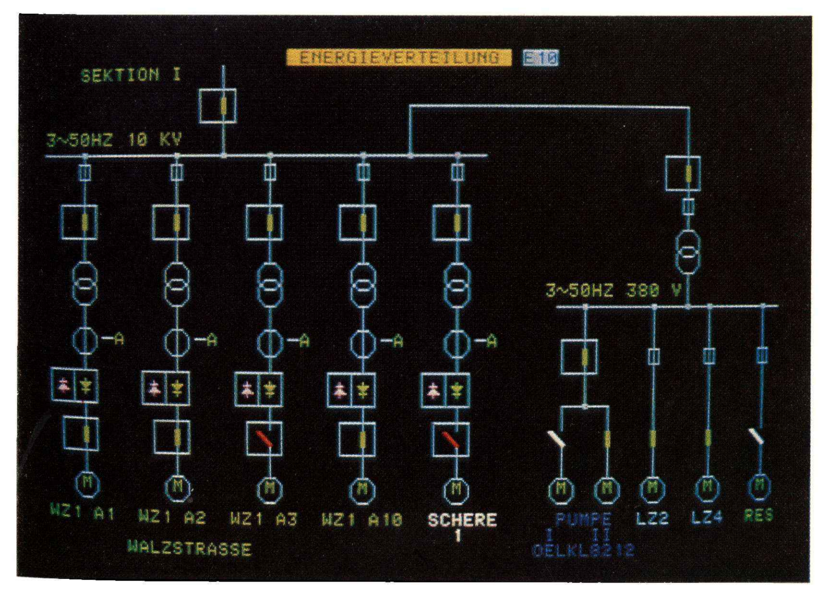


Bild 5.4.7. Symbolische Darstellung des Ausschnitts einer Schaltanlage
(Aufnahme: *Fahr*)

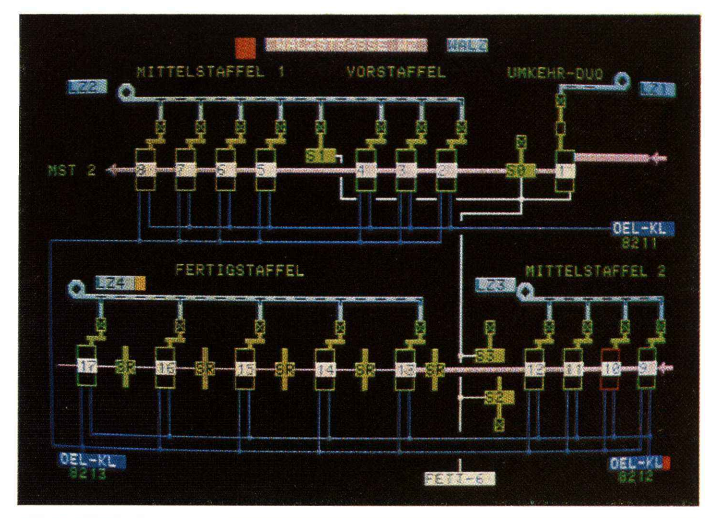


Bild 5.4.8. Symbolische Darstellung des Ausschnitts einer kontinuierlichen Walzstraße (Aufnahme: *Fahr*)

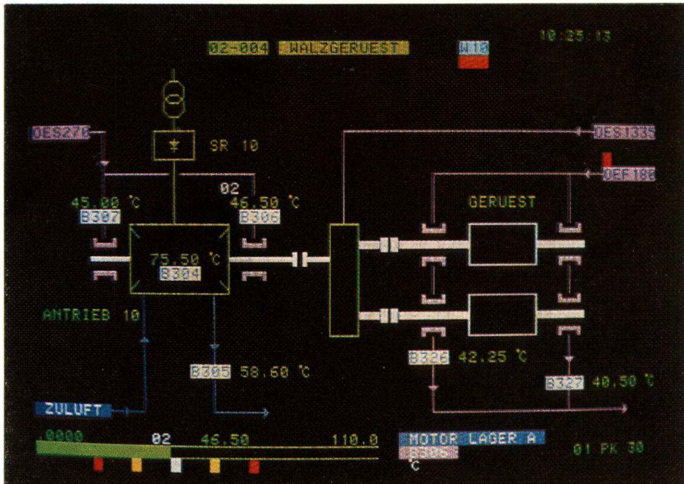


Bild 5.4.9. Symbolische Darstellung eines Walzgerüstes (Aufnahme: *Fahr*)

ALARMPROTOKOLL 20 10 83

11.23 10	VK1	OES1335	02-003-B312	UNTERDRUCK
11.23 25	VK1	OEF180	02-003-B326	TEMPERATUR HOCH
11.24 51	VK4	FES002/003		LAUFZEITUEBERSCHREITUNG
11.25 20	VK1	HY200	B307	DRUCKUNTERSCHREITUNG
11.25 35	VK1	OEF460	B363	BEHAELTER OELVERLUST
11.25 52	VK1	OEF460	B326	UEBERTEMPERATUR
11.27 08	VK4	OES63	04-118-B312	UNTERDRUCK
11.27 20	VK2	DRS1 0	B305	SAUGLEITUNG GESTOERT
11.27 45	VK4	HY402	B361	OEL NACHFUELLEN
11.28 30	VK2	OES725	05-002-B391	FILTER VERSTOPFT

Bild 5.4.10. Überwachungsprotokoll mit Warn- und Störungsmeldung (Aufnahme: *Fahr*)

führen. Dazu gehört auch die Versorgung von zugehörigen Stellgliedern. Hierfür stehen für die Steuerungsanlage die Varianten

- direkte Speisung aus der Batterieanlage bei Gleichspannungsanforderung oder
- Speisung über Wechselrichter bei Drehstromschienen zur Verfügung.

5.5.4.1. Speisung aus einer Batterieanlage

Bild 5.5.7 zeigt die prinzipielle Anordnung für den Anlagenaufbau bei direkter Batteriespeisung. Die Anlage ist für eine Versorgungsspannung von ±24 V ausgelegt. Wie bereits im Abschnitt 5.2. angegeben wurde, kann für die Kontaktabfrage eine Spannung von 48 V benötigt werden. Die Batterien werden über die Gleichrichter *GR1* und *GR2* geladen. Die Anlage arbeitet im ständigen Pufferbetrieb. Die Auslegung der Batterie ist in [5.5] beschrieben, die Auswahl hat wie üblich nach der geforderten Versorgungsdauer, dem Entladestrom und der minimalen und maximalen Batteriespannung für den Verwendungszweck zu erfolgen.

5.5.4.2. Speisung über Wechselrichter

Bild 5.5.8 zeigt den schaltungstechnischen Aufbau der Anlage, die aus Gleichrichter, Batterie, Wechselrichter und elektronischer Umschalteinrichtung besteht [5.44]. Im Normalbetrieb wird die unterbrechungsfreie Stromschiene über den Gleichrichter *GR1* und den Wechselrichter *WR* aus dem nicht unterbrechungsfreien Drehstromnetz gespeist. Der Thyristor-Gleichspannungsschalter *U1* ist gesperrt, womit die 220 V-GS-Anlage der Batterie abgetrennt ist. Der Wechselrichter wird vom DS-Netz geführt, d. h., Ausgangsspannung des Wechselrichters *WR* und Spannung des nicht unterbrechungsfreien Drehstromnetzes haben gleiche Frequenz und Phasenlage.

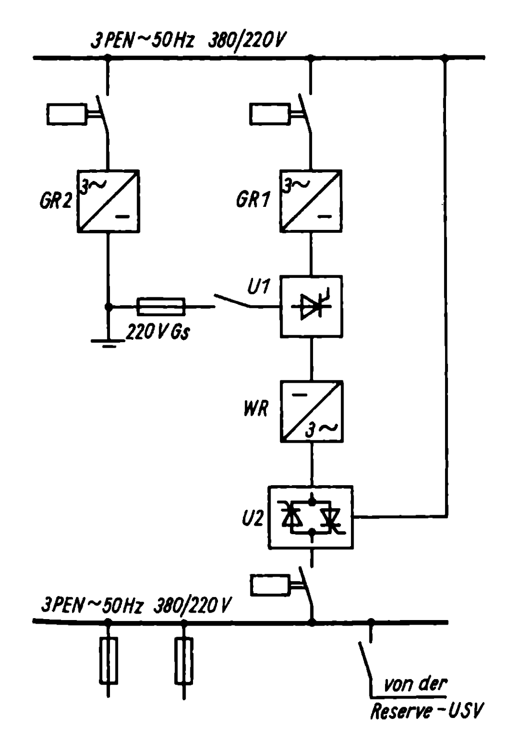


Bild 5.5.8
Anlagenaufbau der Stromversorgung bei Speisung einer unterbrechungsfreien Schiene durch Wechselrichter

USV unterbrechungsfreie Stromversorgung
GR Gleichrichter
WR Wechselrichter

Sinkt die Spannung des Drehstromnetzes unter einen festgelegten und einstellbaren Wert, i. allg. 0,85 U_N, wird der Thyristor-Gleichspannungsschalter *U1* gezündet und die Einspeisung des Wechselrichters unterbrechungsfrei auf die Batterie umgeschaltet. Die Frequenz der Ausgangsspannung des *WR* wird dann durch den im *WR* vorhandenen Frequenzgenerator bestimmt.

Steigt die Spannung des Drehstromnetzes wieder und überschreitet den eingestellten Wert, so erfolgt eine automatische Synchronisierung mit der Netzfrequenz und nach 10 ... 15 s eine automatische Rückschaltung auf die Netzeinspeisung. Bei einem Ausfall der Gleichspannung vom Gleichrichter durch Auslösung der Schutzeinrichtungen oder andere Ereignisse erfolgt die gleiche Umschaltung und Rückschaltung nach Behebung des Fehlers. Bei einem Fehler im Wechselrichter schaltet sich dieser automatisch ab, und über die Umgehungsleitung wird durch den Thyristorschalter *U2* das Netz an die unterbrechungsfreie Sammelschiene gelegt, die damit direkt aus dem Netz gespeist wird. Bei Vorhandensein eines Reservewechselrichters ist dieser dann zuzuschalten, wodurch die Sammelschiene vom Reservewechselrichter gespeist wird. Die Umgehungsleitung wird dann wieder aufgetrennt. Je nach den Betriebsbedingungen ist ein Reservewechselrichter vorzusehen. Der Reservewechselrichter kann in verschiedenen Betriebsarten betrieben werden:

- Mitlauf des Reservewechselrichters
  Der Reserve-*WR* kann unmittelbar nach Umschaltung des Thyristorschalters auf die unterbrechungsfreie Stromversorgungsschiene *(USV)* geschaltet werden.
- Der Wechselrichter steht abgeschaltet in Reserve
  Nach Umschaltung der *USV* des gestörten *WR* auf Netzbetrieb muß der Reserve-*WR* erst angefahren werden. Das dauert 10 ... 15 s. Danach kann die Zuschaltung des *WR* erfolgen.

6. Entwurf von Prozeßsteuerungen

Die Entwicklung mikroelektronischer Bauelemente [6.1] [6.2] [6.3] [6.20] hat zu deutlichen Veränderungen im Bereich der Prozeßsteuerungen geführt [6.4] [6.5] [6.6] [6.98] [6.99] [6.103] bis [6.105]. Der Anteil speicherprogrammierbarer Steuerungen (SPS) wächst gegenüber der verbindungsprogrammierten Technik [6.4] [6.15]; allerdings werden beide Prinzipien bei Prozeßsteuerungen auch künftig ihre Einsatzgebiete finden (vgl. Abschn. 5.). Ausgehend von der bewährten konventionellen Technik, sind ebenfalls für SPS praktikable Instrumente zu ihrer Handhabung bereitzustellen [6.25]. Diese Aufgabe wird erschwert durch

- die zunehmende Kompliziertheit (etwa verdeutlicht durch den exponentiell mit dem Integrationsgrad der Bauelemente zunehmenden Lernzeitaufwand [6.7])
- veränderte Tätigkeitsmerkmale und Arbeitsmittel (Schwerpunkt: Software, Tafel 6.1)
- die allgemeine Tendenz zur Rationalisierung der Ingenieurtätigkeit [6.8], da eine Verschiebung der Kostenanteile bei der Lieferung von Erzeugnissen zugunsten des Umfangs an Ingenieurserviceleistungen zu beobachten ist.

Zu den Schwerpunktaufgaben im Gesamtprozeß der technischen bzw. technologischen Vorbereitung [6.9] [6.10] bis [6.12] zählen

- das Bereitstellen geeigneter Arbeitsmittel zur Problemanalyse und zum projektierungsfreundlichen Formalisieren der Aufgabenstellung
- das Effektivieren des Projektierungsprozesses durch Anwenden projektierungsfreundlicher Strukturen und einfach handhabbarer Projektierungshilfsmittel (Rechnerunterstützung mit Dialogbetrieb)
- das Senken des Fertigungs- und Montageaufwands durch Nutzen typisierter, d. h. konfektionierter Einrichtungen (bzw. Einrichtungsteile) mit hohem Wiederholgrad bei prüfgerechtem Aufbau (übersichtliche Konstruktionen, leicht zugängliche Prüfpunkte, Statusanzeige, automatische Selbstüberwachung, Reduzierung des Anteils individuell angefertigter, „maßgeschneiderter" Ausrüstungen) sowie durch Anwenden effizienter Anschluß- und Verbindungstechniken
- verbesserte zeit- und kostensenkende Montage-, Inbetriebsetzungs- und Wartungsprozeduren durch Anwenden und Implementieren systematischer Diagnosemethoden (Expertensysteme [6.120]) bei gleichzeitiger Erhöhung der Verfügbarkeit
- das rationalle Bereitstellen übersichtlicher Dokumentationsunterlagen (auch zur Verbesserung der Verständigung zwischen Hersteller und Betreiber) bei minimiertem problemspezifischem Anteil sowie
- das Realisieren eines durchgängigen Datenrückmeldesystems, um im Rahmen einer alle Komponenten einbeziehenden Qualitätssicherung die gewonnenen Erfahrungen zielgerichtet verarbeiten zu können.

Diesen Forderungen kommen Systeme mit hochintegrierten mikroelektronischen Bauelementen, insbesondere mit Mikroprozessoren und programmierbaren Speichern, entgegen.

Dem Vorzug einer projektunabhängigen Fertigung der Hardware bei speicherprogrammierbaren Steuerungen steht der Zwang nach einer der herkömmlichen Gerätefertigung adäquaten „Software-Produktion" gegenüber, um das explosionsartige Ansteigen der Software-Aufwendungen im Vergleich zu sinkendem Hardware-Anteil [6.13] überhaupt zu beherrschen und diesen Produktionszweig nach Kosten- und Zeitbedarf kalkulierbar zu machen. Nur über den Weg geeigneter Produktionsmittel für die Software lassen sich wirtschaftlich fehlerfreie, pflegeleichte Programme bzw. Programmsysteme herstellen und die Unsicherheiten in der Planung beseitigen [6.14]. Somit spiegelt sich besonders auf dem Gebiet der technischen Vorbereitung der gegenwärtige Übergang vom „Werkzeug zum Denkzeug" wider [6.95].

Tafel 6.1. Veränderte Tätigkeitsmerkmale und Arbeitsmittel durch Einführung der SPS

Hersteller	Tätigkeitsmerkmale	Arbeitsmittel	Qualifikationserfordernisse/ Kenntnisse
Entwicklung	– Software-Entwicklung – Anlagenentwicklung – Hardware-Entwicklung	– MR-Entwicklungssystem – Bürocomputer – Wirtsrechner zur MR-/ Prozeßsimulation – Logikanalysator – Programmbibliotheken – Datenendplätze – Anlagenlabor	– Programmiersprache (Assembler, POS) – digitale Rechentechnik – Prototypensystem – Wirtsrechner-Software – MP-Entwurfsregeln – Aufgabennotierungsverfahren
Projektierung	– Software-Erarbeitung (Software-Konfigurieren) – Anwendung POS – Hardware-Konfigurieren	– Wirtsrechner, Testzentrum – Entwicklungssystem – Bürocomputer – ZPK, Programmbibliothek – problemorientierte Sprache (POS) – Software-Module – Datenendplatz	– Digitaltechnik – Mikrorechentechnik – Programmiersprache – Dialogverkehr – Aufgabennotierungsverfahren
Stationäre Fertigung/ Prüffeld	– PROM-Programmierung – Prüfsoftware-Erarbeitung – Funktionsprüfung mit Prüfrechner – Rechnerkonfigurieren	– PROM-Programmiergerät Prüfrechner – Datenendplatz – Prüfrechner-Software	– Programmiersprachen – Digitaltechnik – Mikrorechentechnik – Dialogverkehr – Aufgabennotierung – spezielle technologische Verfahren/Behandlungsvorschriften
Inbetriebsetzung	– Software-Korrekturen – Prozeßanpassung der Sofware – Inbetriebsetzung mittels Tastatur, Bildschirm u. a.	– spezielle Gerätetechnik – Logikanalysator – PROM-Programmiergerät – Bildschirme – Tastaturen	– Digitaltechnik – Mikrorechentechnik – Aufgabennotierung – Bedienung der Arbeitsmittel – Programmiersprachen – Behandlungsvorschriften
Betreiber	Prozeßbedienung über Bildschirm u. Tastaturen	– Servicegeräte, Logikanalysator – Bildschirme – Tastaturen	Grundwissen: – Digitaltechnik – Mikrorechentechnik – Programmierung

Der folgende Abschnitt befaßt sich mit der Phase der technischen Vorbereitung auf der Basis vorhandener Gerätefamilien und bewährter Aufbauprinzipien (vgl. Abschn. 4.). Die Vergegenständlichung dieser Ergebnisse wird im Abschnitt 7. untersucht.

6.1. Entstehungsprozeß

6.1.1. Entwurfsgrundsätze

Die Betrachtung von Grundstruktur und Aufgabenbestimmung einer Prozeßsteuerung (vgl. Abschnitte 3.1., 3.2., 5.1.) läßt eine ausgeprägte Komplexität erkennen. Ihre zielgerichtete Reali-

sierung muß also — auch infolge der notwendigen Einbeziehung weiterer ökonomischer, technologischer und technischer Kriterien, die nicht zur unmittelbaren Steuerungsaufgabe gehören (Kosten, Verfügbarkeit, Aufstellungsmöglichkeiten usw.) — als ein Optimierungsprozeß im Sinne einer Polyoptimierung angesehen werden [6.106] [6.107]. Eine weitgehende Annäherung an dieses Optimum gelingt daher nur mit einer systematischen Entwurfs- und Projektierungsstrategie, für die folgende Grundzüge charakteristisch sind:

- durchgängige Gestaltung des Projektierungsprozesses als Folge von möglichst rückwirkungsfreien Arbeitsschritten zur Produktion von Projekten (Dokumentation)
- Verwirklichung einer darauf orientierten und weitgehend automatisierbaren Projektierungstechnologie (einschließlich ihrer leichten Erlernbarkeit) im Sinne der Anwendung wissenschaftlichen Wissens zum Erreichen praktischer Ziele
- Einführen von der materiellen Produktion adäquaten Qualitätssicherungsmaßnahmen zum Erhöhen der Treffsicherheit der Projektunterlagen in bezug auf die tatsächlich objektive Aufgabenstellung und damit zum Reduzieren des Prüf- und Inbetriebsetzungsaufwands (im Prüffeld darf nicht das Ermitteln von Projektierungsfehlern zur Hauptaufgabe werden)
- Gestalten der Programmerarbeitung als Software-Produktion unter Nutzung geeigneter Produktionsmittel
- Beherrschen des hohen Dokumentationsumfangs infolge der ständig wachsenden Informationsmengen
- leichte Änderungsmöglichkeiten auch im fortgeschrittenen Projektierungsstadium
- Verbesserung der Planbarkeit von Projektierungsleistungen
- Erhöhung des Anteils an projektinvarianter materieller Produktion durch bevorzugten Einsatz von Standardsystemen (z. B. EGS) und -teilen (z. B. Einkauf-, Lagersystemteile) sowie durch reduzierten Umfang an projektabhängigen konstruktiv-technologischen Leistungen
- Zuschnitt der Projektbearbeitung auf vorhandene Fertigungs- und Prüfeinrichtungen
- projektierungsgerechte Beschreibung aller projektierbaren Komponenten.

Nur solche Prinzipien gestatten überhaupt die vernünftige Einführung leistungsfähiger EDV-Gerätetechnik, die wiederum als einzige Alternative zur effektiven Beherrschung des Gesamtprozesses verbleibt [6.18]. Außerdem sind sie Ausdruck einer ausgereiften Systemtechnik, die das Lösen unterschiedlicher Probleme mit einem einheitlichen Vorrat an Lösungsverfahren erlaubt, aus denen für den gesonderten Fall anhand von Kriterien auszuwählen ist (hoher Grad von Wiederholbarkeit).

6.1.2. Gesamtablauf

Die Durchsetzung der beschriebenen Entwurfsgrundsätze zwingt zu einer weitgehenden Algorithmierung und damit Objektivierung des kompletten Prozeßablaufs. Zwei zum Teil divergierende Rahmenziele sind zu erreichen:

- die Sicherung von Effektivität und Arbeitsproduktivität beim Produzenten sowie
- die Erfüllung von Aufgabenstellungen und Bedingungen des Kunden bzw. Betreibers.

Der Gesamtablauf (Bild 6.1.1) zum Erreichen einer betriebsfähigen Prozeßsteuerung läßt drei wesentliche Etappen erkennen:

- die Erarbeitung der vollständigen widerspruchsfreien und z. T. formalisierten Aufgabenstellung (Analyse)
- den eigentlichen Entwurfs- bzw. Projektierungsprozeß (Synthese)
- die Realisierungsphase, die im Vorgriff auf den Abschnitt 7. an dieser Stelle vollständigkeitshalber mit erwähnt wird.

Bedingt durch neue Rationalisierungsmöglichkeiten und die Zunahme von Kompliziertheit sowie Komplexität der zu steuernden technologischen Prozesse, erleben alle drei Bereiche gegenwärtig einen tiefgreifenden Umbruch, um die eingangs fixierten Rahmenzielstellungen zu erfüllen. Bei der Bearbeitung der einzelnen Schritte ist, obwohl ein streng fortlaufender Prozeß vorliegt, in jede Phase die Überprüfung des Vorläufers auf Korrektheit in Form qualitätssichernder Kontroll-

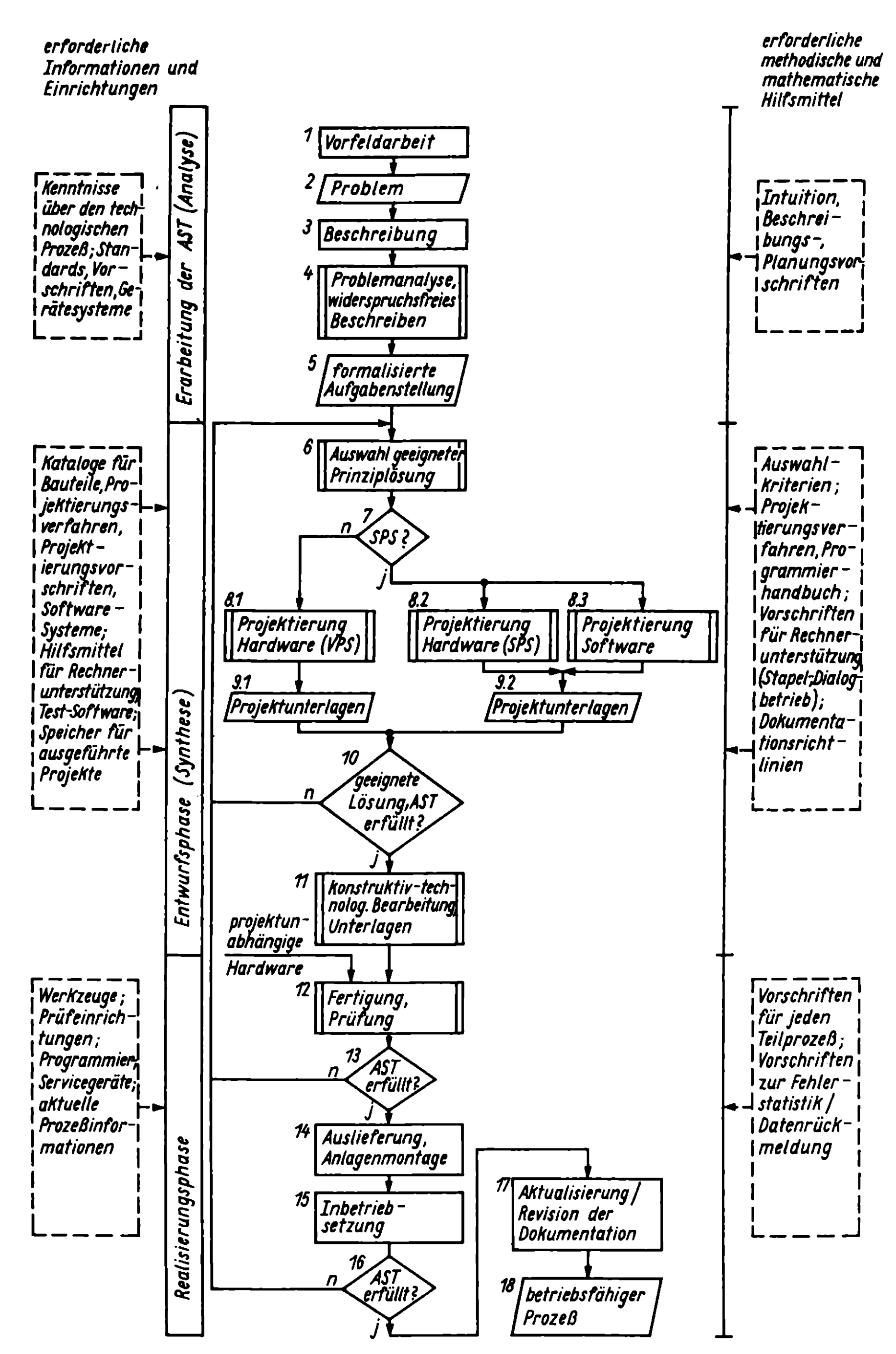


Bild 6.1.1. Entstehungsprozeß von Prozeßsteuerungen

aktivitäten einzubeziehen, so daß sich der Arbeitsablauf als ein zuminest teilweise iterativer Vorgang darstellt. Darüber hinaus sollten auch alle wesentlichen Zwischenergebnisse des gesamten Vorgangs einschließlich verworfener Varianten eingehend festgehalten werden.

Die Rücksprünge nach den Vergleichen *10*, *13*, *16* zum Block *6* sind prinzipieller Natur und bleiben die Ausnahme, weil Differenzen gegenüber der Aufgabenstellung i. allg. nur zu Detailkorrekturen und nicht zum Verlassen des Lösungsprinzips zwingen.

Das Erarbeiten der Aufgabenstellung kann zur schwierigsten Etappe des Entstehungsprozesses werden. In ihr bilden sich die Konturen der künftigen Prozeßsteuerung, und die Qualität der Aufgabenstellung bestimmt unter Beachtung der die Erfüllbarkeit beeinflussenden objektiven Gegebenheiten in entscheidendem Maß das Gesamtergebnis. Im Verlauf dieses Arbeitsabschnitts müssen terminologische Barrieren und sonstige Verständigungsschwierigkeiten zwischen Projektant und Betreiber abgebaut werden. Verbindende Schnittstelle zwischen beiden Partnern ist also das Beschreibungsmittel. Neben der technischen Seite ist in diesem Zusammenhang auch die terminliche Realisierung (etwa in Form eines Netzplans) zur Sicherung des vereinbarten Projektabschlusses (Übergabe an den Auftraggeber) festzuschreiben.

In der zweiten Hauptetappe „Projektierung/Entwurf" entstehen die konkreten Strukturen. Ihre Systemeigenschaften müssen mit der Aufgabenstellung übereinstimmen bzw. sich ihr hochgradig annähern. Der Fortgang der Arbeiten muß differenziert in Abhängigkeit von der Entscheidung zur eingesetzten Gerätetechnik erfolgen und besonders in diesem Bereich an geeigneten Stellen die bereits erwähnten Kontrollaktivitäten vorsehen, die die Sicherheit der Erfüllbarkeit der Aufgabenstellung erhöhen. Übergabeleistung für die sich anschließende Realisierungsphase (vgl. Abschn. 7.) ist die komplette Projekt- und Fertigungsdokumentation, die in allen Einzelheiten die Bedingungen der sich anschließenden Operationen (Fertigung, Prüfung Montage, Inbetriebsetzung, Betreiben mit Service und Wartung) zu berücksichtigen hat.

Ausgehend von Bild 6.1.1 stellt also der Entstehungsprozeß einer Prozeßsteuerung in seiner Gesamtheit ebenso wie die Vorgänge in der Einrichtung selber einen informationsverarbeitenden Prozeß dar, der Eingangsgrößen (Aufgabenstellung) zu Ausgangsgrößen (Systemunterlagen bzw. betriebsfähige technologische Einrichtungen) verarbeitet [6.16] [6.17], wobei ein optimales Ergebnis nur unter Beachtung zusätzlich bereitzustellender Informationen und Hilfsmittel (Eingangsgrößen) in Verbindung mit der Nutzung geeigneter gerätetechnischer Einrichtungen erreicht wird. Zu den erforderlichen Informationen und Einrichtungen zählen beispielsweise

- Kenntnisse über den technologischen Prozeß
- Standards, Vorschriften, Schutzrechte
- Liefer- und Leistungsbedingungen (auch für Zulieferungen)
- Bezeichungssystematik
- Gerätesystembeschreibung
- Projektierungskataloge für Bauteile und Software-Systeme (Programm- und Programmiersysteme, Sprachbeschreibungen u. ä.)
- Speicher bzw. Kenntnisse („Software-Lager") über ausgeführte Projekte, Programme u. ä.
- Hilfsmittel für rechnergestützte Projektierung von Hardware und Software (z. B. Dialogarbeitsplätze für interaktive Aufgabenabarbeitung, Entwicklungssystem, zugehörige EDVA) einschließlich zugehöriger Test-Software
- Fertigungsmittel (Werkzeuge, konventionelle und rechnergestützte Prüfeinrichtungen)
- Inbetriebsetzungs- und Servicegeräte (Programmiergeräte, Logikanalysatoren, Expertensysteme [6.120] u. a.).

An methodischen oder mathematischen Hilfsmitteln wird neben der weiterhin nicht zu unterschätzenden und mit der Erfahrung gepaarten Intuition folgendes vorhanden sein müssen:

- Beschreibungsvorschriften zur problemnahen Notation
- Planungsvorschriften
- systematische Entwurfsverfahren
- Kriterien und Entscheidungshilfen zur Auswahl von Gerätesystemen und/oder Problemlösungen aus einen Angebot
- Katalogprojektierungsverfahren

- Vorschriften zur Anwendung der Rechnerunterstützung im Stapel- und/oder Dialogbetrieb
- Ausführungsrichtlinien für die Dokumentation
- Programmierhandbuch
- Vorschriften für Prüfung, Montage/Inbetriebsetzung und Erarbeitung von Revisionsunterlagen
- Methoden zur Prozeßsimulation während Projektierung und Prüfung
- Vorschriften für das Führen der Fehlerstatistik (Datenrückmeldung).

Dieses umfangreiche Instrumentarium fördert Kreativität und Aktivität der am Entstehungsprozeß beteiligten Mitarbeiter, vorzugsweise der Projektanten, und entlastet sie von Routinearbeiten. Seine Zusammensetzung läßt deutlich den Einfluß der Rechentechnik erkennen. Ihren Anteil auszubauen stellt letztlich den entscheidenden Ansatzpunkt zur weiteren Effektivierung und Intensivierung des Projektierungs- und Fertigungsprozesses dar [6.16] [6.18] [6.19].

6.2. Aufgabenstellung und ihre Formulierung

6.2.1. Vorfeldarbeit — Anforderungen — Übersicht

Ausgehend vom Gesamtablauf, Bild 6.1.1, ist im Bild 6.2.1 die Erarbeitung der Aufgabenstellung detailliert dargestellt. Die Qualität des Ergebnisses dieser Etappe — also die Aufgabenstellung in ihren verschiedenen Ausdrucksformen — bestimmt wesentlich die Wirksamkeit des sich anschließenden Arbeitsaublaufs und die Güte des Gesamtergebnisses. Insbesondere kann Sorgfalt in dieser Phase den zusätzlichen änderungsbedingten Inbetriebsetzungsaufwand klein halten.

Bevor es zur eigentlichen Formulierung der Aufgabenstellung kommt, ist der technisch-kommerzielle Aufgabenkomplex „Vorfeldarbeit" zu bewältigen. Diese Tätigkeit umfaßt neben der auftragsunabhängigen technischen Information und Beratung potentieller Kunden vor allem die Phase vom Auftrag des Kunden bis zur Abgabe des Angebots an den Kunden. Der Vertragsabschluß beendet diesen Abschnitt, er fixiert neben kommerziellen Belangen (Preis, Liefertermin, Liefer- und Leistungsbedingungen u. ä.) auch die Form, in der die Problemstellung an den Projektanten zu übergeben ist. Aus den grundsätzlichen Möglichkeiten,

- der verbalen umgangssprachlichen Beschreibung
- der algebraisch-analytischen Darstellung
- der grafischen Darstellung

} bzw. ihrer Kombination,

ist die beiden Partnern gerecht werdende Form auszuwählen bzw. durch Kombination zu bilden. Dazu unbedingt erforderliche unterstützende Arbeitsmittel (z. B. Fragebögen, Technologieschemata nach TGL 14091/01 u. ä.) dienen der Verständigung beider Partner insofern, daß der Projektant in geeigneter Weise in den Besitz aller notwendigen Informationen, d. h. der technischen, technologischen und sonstigen Bedingungen des zu automatisierenden Prozesses — der Steuerstrecke — gelangt.

Schwerpunkt der Problembeschreibung ist ihr Grad der Vollständigkeit. Deutliche Lücken können zu einer umfangreichen Änderungstätigkeit innerhalb des Entstehungsprozesses, die Inbetriebsetzung eingeschlossen, führen. Eine Zusammenstellung des notwendigen Inhalts enthält Tafel 6.2.1 [6.16] [6.21] [6.22], TGL 32991.

Darüber hinaus ist zur termingetreuen Bearbeitung auch die Aufnahme von Forderungen an den Auftraggeber hinsichtlich der Sicherstellung der Einführung sowie des terminlichen Ablaufs der Realisierung (Netzplan) beim Hersteller zweckmäßig.

Aus der Analyse entsteht die Kenntnis über die Menge aller Systemeigenschaften. Für die eigentliche Informationsverarbeitung liefert sie eine möglichst widerspruchsfreie Beschreibung des Problems als algorithmisierte, formalisierte Aufgabenstellung. Eine solche Form gestattet eine schnelle Umsetzung in geeignete Hardware- bzw. Software-Lösungen im Zuge des sich anschließenden Entwurfsprozesses (Bild 6.1.1).

Kennzeichnend für diese insgesamt analytische Tätigkeit ist eine typisch heuristische Vor-

gehensweise [6.23], bei der Konkretisierungs- und Detaillierungsgrad mit dem Bearbeitungsfortschritt anwachsen und somit die zu Arbeitsbeginn vorhandene Defektmenge – also die Unsicherheiten bzw. Unkenntnisse über zu verwirklichende Systemeigenschaften – systematisch abgebaut wird. Der Schwierigkeitsgrad erhöht sich dadurch, daß sich im allgemeinen in der zu steuernden technologischen Einrichtung (Steuerstrecke) mehrere Vorgänge zeitgleich (parallel) vollziehen. Als bewährter Lösungsweg bietet sich dazu die Dekomposition an [6.16] [6.24] [6.31] [6.32]. Dabei sind solche Teilprozesse zu definieren, die eine übersichtliche und technologieoptimale Gestaltung der Steuereinrichtung gestatten. Ein Teilprozeß – nach Abschnitt 5. auch als Funktions- oder Antriebsgruppe bezeichnet – umfaßt alle technologisch zusammenhängenden Stellglieder (bzw. Antriebe).

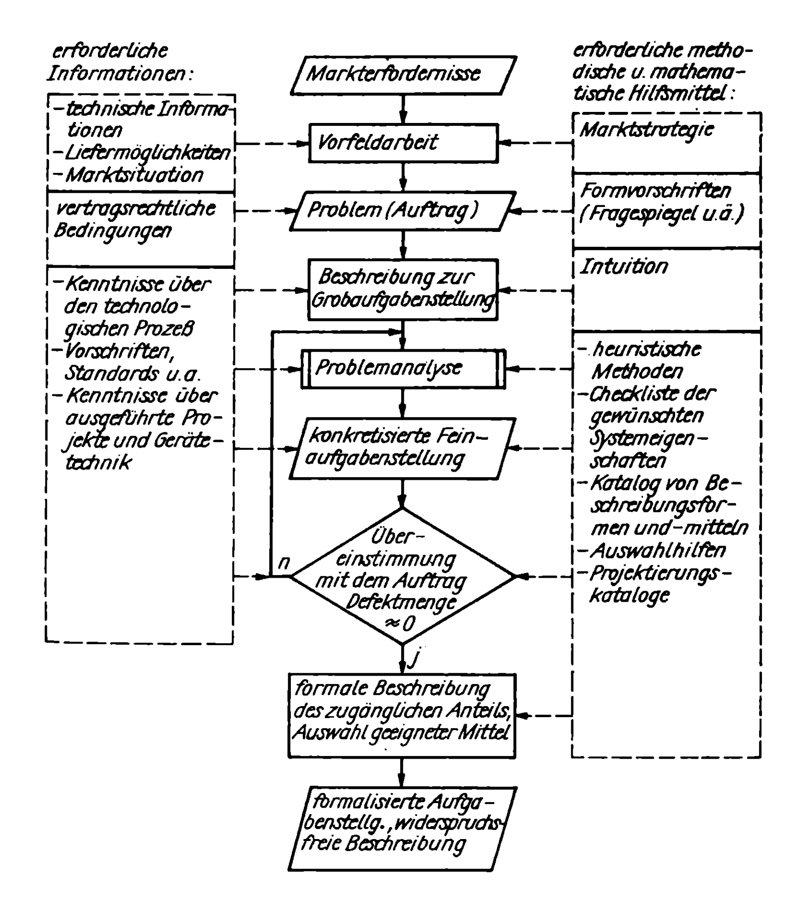


Bild 6.2.1. Erarbeitung der formalisierten Aufgabenstellung (Funktionssynthese)

Ausgewählte Teilprozesse können im Sinne einer Strukturvereinfachung weiter zerlegt werden, bis wenige oder keine Parallelabläufe auftreten. Diesen Elementarsteuereinrichtungen werden dann die notwendigen Informationsverbindungen zu anderen Teilprozessen zur Wiederherstellung der Gesamtanlage sowie die zutreffenden Eingangs- und Ausgangssignale zugeordnet.

Tafel 6.2.1. Forderungen an den Inhalt von Aufgabenstellungen

a) Allgemeine Systemeigenschaften

Allgemeine Systemeigenschaften, Gebrauchswerte, zu beachtende Nebenbedingungen

Grundanforderungen	Details
Einsatzbedingungen	Umgebungstemperatur, Feuchte, Staubbelastung, Klimat, Schwingungsfestigkeit, Transport- und Lagerbedingungen
Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)	Funktionssicherheit bei Einwirkung elektrischer und magnetischer Felder und von Netzstörungen
Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit	Θ, Dauerverfügbarkeit, Nutzungsfaktor, Reparaturdauer, Ersatzteilbedarf, Störreserve, Datenrückmeldung (Fehleranalyse)
Wartung, Service	Gerätetechnik, Änderungs- und Erweiterungsmöglichkeiten
Sicherheitstechnik	Eigensicherheit, Ex-Schutz, Schutz gegen unbefugten Zugriff, Brandlast, Schutzklasse, Schutzgrad, Funkstörgrad, räumliche Bedienungs- und Arbeitsgänge, Verhalten bei Spannungsausfall
Arbeitshygiene, Gestaltung	ergonomische Eigenschaften, Farbgebung, Bedienungselemente
Räumliche Bedingungen	Volumen, Masse, Montage-, Aufstellungsbedingungen, Platzbedarf, konstruktive Bedingungen, Anschlußstellen, Verkabelung
Einhalten von Vorschriften	TGL, IEC, RGW-Standards, ASMW-VW, Betriebsspezifika
Dokumentationsumfang	Projektunterlagen, Gerätebeschreibungen, Inbetriebsetzungsunterlagen, Gütenachweise (Prüfergebnisse GAB)
Arbeitsprinzipien	Warnung (Anfahrwarnung), Laufzeitüberwachung, Start- und Haltbedingungen

b) Der einer Formalisierung zugängliche Teil

Technische bzw. technologische Bedingungen der Informationsverarbeitung

Grundanforderungen	Details
Gerätetechnik	VPS, SPS, Stell- (Elektroaggregate- bzw. Antriebsliste) und Meßglieder, Gefäßtechnik
Charakteristika der Steuerung	Strukturgestaltung (Funktionsgruppenbildung), Stromkreisbildung/-überwachung, Wirkungen steuerungsinterner Störungen, Sicherheitsschaltung, Anzahl der Eingabe-, Ausgabekanäle, Geschwindigkeitsforderungen, Steuerungsart (kombinatorisch, sequentiell, Taktkette u. ä.) funktionelle Zusammenhänge (parallele Abläufe, Verriegelungen, Redundanz), Arithmetikanteil (Regelung, Meßwertverarbeitung), Ansteuerungsart der Stellglieder (statisch oder dynamisch)
Signalpegel	Prozeßmeß- und -stellsignale, Informationssignale, Leistungsbedarf
Stromversorgung	Netzanschlußbedingungen (Versorgungsebene, Leistung, Konstanz, Frequenz), Versorgungssicherheit (Überwachung, Netzausfallverhalten)
Anlagengestaltung	Kompatibilität und Kopplungsbedingungen zu anderen, auch übergeordneten Automatisierungseinrichtungen, Einsatz elektrischer Kabel und Leitungen
Meldeordnung, -technik	konventionelle Signalisation, Displayeinsatz, zu überwachende Signale, Auflösung, Hierarchie
Diagnose	Störungserkennung, -beseitigung
Bedienung	Automatik, Handeingriff, Betriebsarteneinstellung

Die damit auch auf der Ebene der Beschreibung methodisch erzwungene Hierarchie, die natürlich den tatsächlichen Gegebenheiten zu entsprechen hat, muß so gestaltet sein, daß Aussagekraft, d. h. Lesbarkeit, Überschaubarkeit und Handhabbarkeit, gleichmäßig gut sind.

Innerhalb der Bearbeitungsstufe Problemanalyse werden
- die grundsätzliche Struktur der Prozeßsteuerung mit den notwendigen Prozeßmeß- und -stellgliedern
- die Nebenbedingungen (Verriegelungen u. ä.)
- Vorschriften zur Bedienung, Handhabung, Meldung, Überwachung

festgelegt, und man erhält im Ergebnis den Ablauf aus technologischer Sicht, also das gewünschte äußere Verhalten der Steuereinrichtung als vollständige und widerspruchsfrei formalisierte Beschreibung. Sie muß deshalb die Verhaltensabbildung eines Automaten darstellen. Mit wachsendem Integrationsgrad der Bauelemente gewinnt diese Notierung zunehmend an Bedeutung, da sich mit diesem Trend eine Aufwandsverschiebung von der Struktursynthese zur formalisierten Beschreibung der Aufgabenstellung, also der Funktionssynthese, verbindet. Ausgehend davon muß das Beschreibungsmittel folgende Merkmale aufweisen:
- problemorientierte, nicht an bestimmte physische Eigenschaften der zum Einsatz gelangenden Gerätetechnik gebundene Darstellung
- Möglichkeit der schrittweisen heuristischen Erarbeitung und Formulierung (auch auf iterativem Weg zur Zwischenprüfung der Aufgabenstellung)
- unmißverständliche Erkennbarkeit der Wirkungsrichtung zwischen den Eingangs- und Ausgangssignalen
- Entsprechung zur natürlichen Arbeitsweise des Projektierungsingenieurs und leichte Erlernbarkeit
- Fähigkeit zum Koppeln (oder Teilen) von Plänen, um abgeschlossene technologische Komplexe (Teilkomplexe, Funktionsgruppen) zu erhalten und verbinden zu können
- Detaillierbarkeit (Grob- und Feindarstellung des Ablaufs)
- Weiterverwendbarkeit in der Projektdokumentation, geeignet für verschiedene Lesergruppen
- leichte Umsetzbarkeit in die gewünschte Lösung und Eignung für die weitere rechentechnische Verarbeitung
- algorithmische Prüfbarkeit der Widerspruchsfreiheit des Ergebnisses (unterschiedliche Eingangsbedingungen dürfen nur gleichartige Ausgangsfolgen erzeugen, allerdings stößt diese Prüfung bei steigender Anzahl von Eingangsvariablen auf Schwierigkeiten bei der praktischen Durchführung, so daß es gelingen muß, wichtige kennzeichnende Folgen auszuwählen)
- fehlerbeschränkende Syntax und Semantik (kein Provozieren fehlerhafter Konstruktionen, leichte Fehlerermittlung, lokale Fehlerauswirkung, kein Fortpflanzen von Defekten)
- Änderungsfreundlichkeit (leichte Wartbarkeit).

Gegebenenfalls ist es zweckmäßig, zu Beginn der analytischen Tätigkeit den Eingangssignalen (technologische Gebersignale, Befehle, Rückmeldungen) und Ausgangsgrößen (Stellbefehle, Rückmendungen) des zu projektierenden Systems entsprechende kurze Bezeichner zuzuweisen.

Trotz dieser Bedingungen und dieser Arbeitsweise läßt sich die Lückenlosigkeit der Aufgabenstellung algorithmisch nicht nachweisen. Das garantiert nur eine systematische Vorgehensweise unter Beachtung von Tafel 6.2.1.

Bei der Prozeßautomatisierung haben sich Prozeßablauf-/Funktionsplan (PRAP), Programmablaufplan (PAP), Steuerungsablaufplan (STAP) und Zustandsgraph besonders bewährt. Bei ihnen steht die Funktion (nicht die Struktur) im Vordergrund; deshalb werden diese Funktionsbeschreibungen im weiteren auch näher untersucht. Eine Sonderstellung nimmt der Logikplan ein, der über das eigentliche Anliegen hinausgeht, formalisierte Aufgabenstellung und Lösung in sich vereinigt und besondere Bedeutung für die Realisierung von VPS besitzt. Er entspricht vollständig der konventionellen Vorstellung. Auf die etwa auf gleichem Niveau liegende Kontaktplandarstellung wird verzichtet, weil sie im Bereich der Prozeßautomatisierung keine bzw. nur bei Kleinststeuerungen noch Bedeutung besitzt. Bei der Auswahl sind sowohl die voraussichtlich in Frage kommende Hardware-Ausführung (SPS oder VPS) als auch Umfang und Art der Steuerung in Betracht zu ziehen.

Neben dem übergeordneten Ziel einer vollständigen und widerspruchsfreien Beschreibung der Steuerungsaufgabe sollte das Mittel der Wahl darüber hinaus noch folgende Möglichkeiten er-

Tafel 6.2.2. Entwurfsebenen in der Projektierung

Lfd. Nr.	Entwurfsniveau	Erläuterung	Erforderliche Arbeiten		
			VPS Hardware	SPS	
				Hardware	Software
1	Systemebene	Anlagensystem- bzw. Architekturentwurf	×	×	
2	Modulebene	Entwurf unter Nutzung komplexer Hardware- und Software-Funktion (Module)	×	×	×
3	Gatterebene	Entwurf von Modulen aus Elementarschaltungen			×

öffnen, wobei die grafische Darstellung wegen ihrer Konformität zur Denkweise des Ingenieurs immer zu bevorzugen ist:

- deutliche Problemorientierung als Verständigungsbasis zwischen Kunden und Projektanten
- Fähigkeit zur Dekomposition und Modularisierung, um die gewünschte Detaillierung und Übersichtlichkeit zu erzielen und damit eine hierarchisch gegliederte Beschreibung zu erhalten
- realisierungsgerechte Notierung, so daß die Aufgabe unter Nutzung vorhandener Hardware und Software-Module sofort umgesetzt werden kann (Voraussetzung für eine Rechnerstützung während des Projektierungs-/Entwurfsprozesses)
- Identität von Struktur der Aufgabennotierung und der technischen Realisierung als Voraussetzung für die Weiterverwendung der formalisierten Beschreibung während Inbetriebsetzung und Wartung (Fehlersuche)
- Kombinationsfähigkeit mit anderen Beschreibungsmitteln.

Da der Entwurf digitaler Steuerungen (nicht nur) in der Automatisierungstechnik i. allg. auf verschiedenen Ebenen mit differnziertem Detaillierungsgrad vorgenommen wird [6.36], müssen die gewählten Beschreibungsformen auch auf jedem der drei Niveaus nach Tafel 6.2.2 anwendbar sein und somit die wiederholt erwähnte Prozeßzerlegung mit dem Ergebnis der Feinaufgabenstellung gestatten.

Da strukturbeschreibende Syntheseverfahren auf Basis der Schaltalgebra (Boolesche Algebra) lediglich auf Ebene 3 zweckmäßig sind, wird entsprechend dem Anliegen dieses Buches auf dazu zahlreich erschienene andere Buchveröffentlichungen verwiesen [6.21] [6.26] bis [6.30].

Insgesamt wird dem Problemkreis der Beschreibung der Aufgabe zunehmend besondere Bedeutung zukommen, da die Überführung aus der vorwiegend verbalen in eine übersichtliche grafische Form die eigentliche kreative Arbeit in der Tätigkeit des Steuerungstechnikers darstellt. Daß davon nur ein Teil der Gesamtaufgabenstellung – nämlich die einer Algorithmierung zugängliche Informationsverarbeitung – betroffen ist, sei noch einmal betont. Der nicht unwesentliche Rest (vgl. Tafel 6.2.1) muß selbstverständlich weiterhin verbal notiert werden.

In Verbindung mit dem Formulieren der Aufgabenstellung ist natürlich auch zu überprüfen, ob alle Anteile überhaupt projektierbar sind. Gegebenenfalls, sind für bestimmte Teilaufgaben, bei zu hohem Schwierigkeitsgrad, wegen fehlender technologischer Algorithmen, infolge nicht ausreichender Vorleistungen und wegen deshalb insgesamt erforderlich werdender experimenteller Stützung applikative Arbeiten (etwa im Bereich der Entwicklung) zu bilanzieren.

Unabhängig davon, welches Verfahren letztlich den Vorzug erhält, sind umfangreiche Vereinbarungen in erforderlichen Richtlinien (vgl. Abschn. 6.3.4.) zu treffen. Dabei handelt es sich um solche Kriterien wie

– die zugelassene Symbolik (drucker- und bildschirmgerechter Zeichenvorrat) und Aufbaurichtlinien (definierter Signalfluß von oben nach unten bzw. von links nach rechts u. ä.) Bezeichnungssystematik (auch für Konnektoren)
– Gestaltungsvorschrift (Rasterung, minimale Konnektoranzahl)
– Zeichnungsformate
– Einordnung in die Gesamtdokumentation (Zugehörigkeit zu anderen Unterlagen, wie Logik-, Stromlaufpläne u. ä.).

Das Vorstellen der verschiedenen Beschreibungsmittel erfolgt am Beispiel einer Einrichtung, die zur Zündung einer Kohlenstaubheizung (etwa für Kraftwerksanlagen) dient. Das technologische Schema dieses „Zündölbrenners" wurde bereits im Bild 5.3.6 gezeigt. Nach Einschalten des Ölkreislaufs wird die Zündlanze verfahren, von der nach Einschalten des Zündtransformators der Zündfunke ausgeht. Zeitgleich ist der Düsenstock in die Brennkammer zu bringen, über den dann das Heizöl eingespritzt wird. Der Überwachung des Ablaufs dienen Endschalter/Druckgeber (*BP 01* bis *04*, aber nicht einbezogen) und ein Flammwächter *BQ*, wobei letzterer erst nach einer Mindestbrenndauer von 5 s Signal gibt. Versagt die Zündung, ist der Vorgang bei Zwischenschalten einer Wartezeit von 25 s zu wiederholen. Dabei bleibt hier der Einfachheit halber die Begrenzung der Anzahl der Wiederholvorgänge unberücksichtigt. Nach erfolgter Zündung wird der Ausgangszustand wieder eingenommen, das definierte Abfahren wird nicht geschildert. Den Ruhezustand erreicht man durch ein überall gleichzeitig wirkendes Löschsignal. Einzuhaltende Anfahrbedingungen sind im einzelnen nicht angeführt. Bei diesem Beispiel handelt es sich um den typischen Fall einer Ablaufsteuerung. Die einzelnen Takte n werden automatisch, sofern nicht anders vereinbart, durch den Takt $n - 1$ gesetzt und durch den Takt $n + 1$ zurückgesetzt. Ein derartiger Zustand kann aber auch als Befehlsausgabeschritt (z. B. bei Verknüpfungssteuerungen) interpretiert werden.

6.2.2. Prozeßablaufplan (PRAP)/Funktionsplan

Der Prozeßablaufplan, auch mit Funktionsplan bezeichnet [6.34] [6.37] [6.103] [6.119], beschreibt aus technologischer Sicht das Zusammenwirken der Eingangs- (*E*) und Ausgangsgrößen (*A*). Er kann für alle Steuerungsprinzipien, vorzugsweise für prozeß- und zeitgeführte Ablaufsteuerungen, aber auch für arithmetische Probleme Anwendung finden. Diese Form der Aufgabenbestimmung ist einer unmittelbaren Umsetzung bei entsprechend gestalteter Hardware und Software zugänglich; im allgemeinen bedarf der PRAP keiner weiteren Auflösung in Verbindung mit anderen Beschreibungsmitteln.

Zur Darstellung werden neben den Grundsymbolen (Schaltungskurzzeichen für logische binäre Elemente nach TGL 16056) die Elemente nach Tafel 6.2.3 benutzt. Den Kern bildet das an TGL 22452 angelehnte Funktionssymbol (lfd. Nr. 1) als vereinfachter zusammenfassender Ausdruck eines Programmschritts. In die Bezeichnungszeile *B* können zur Kennzeichnung des technologischen Teilabschnitts (bzw. der logischen oder arithmetischen Operation) sowohl kurzer Klartext als auch chiffrierte technologische Kurzzeichen eingetragen werden. Die Zeile *C* bleibt wahlweise Sonderfunktionen (Überwachungen u. ä.) vorbehalten. Ein solcher Schritt *n* wird i. allg. dann speichernd gesetzt (Ausgang = log 1), sofern alle Eingangsvariablen den Wert 1 angenommen haben. Solche also konjunktiv verknüpften Fortschaltbedingungen sind einmal der Setzausgang des vorangegangenen Schritts ($n - 1$) sowie bei Erfordernis Rückmeldungen von ausgeführten Befehlen dieses oder anderer noch früherer Schritte. Sein Rücksetzen erfolgt in der im Abschnitt 6.2.6. angegebenen Weise, darüber hinaus kann aber dieser Vorgang auch über weitere Signale (Rückmeldungen, Befehle) am Rücksetzeingang *R* erfolgen. Liegt kein Erfordernis zur Überwachung vor, entfällt Zeile *C*. Andernfalls ist der Wert der Überwachungszeit einzuschreiben. Erfolgt die Laufzeitkontrolle über mehrere Schritte, ist die Eintragung in jedem der dazugehörigen Symbole vorzunehmen.

Befehle – also Anweisungen für Zustandsänderungen – wirken über Stellglieder auf den Prozeß ein und/oder lösen anderweitige Funktionen in der Steuerung aus. Das entsprechende Symbol

Tafel 6.2.3. Symbole für den Prozeßablaufplan (PRAP)/Funktionsplan

Lfd. Nr.	Bezeichnung	Symbol[1])	Erläuterungen
1	Funktionssymbol (Operation)	A / B / C	*A* lfd. Nr. *B* Bezeichnung (Klartext bzw. Mnemonik für technologiegebundene Begriffe) *C* Sonderfunktion (wahlweise, z. B. Überwachungszeit)
2	Befehlssymbol	A | B | C	*A* Befehlsart (Kurzzeichen der Antriebsgrundschaltung) z. B. *SH* Haftverhalten, *T* zeitlich begrenzt, *EA*, *ZA* *B* Bezeichnung, Wirkung *C* lfd. Nr., Zählung beginnt bei jedem Schritt mit 1
3	Ein- und Ausgänge	E R A	— Vorzugsanordnung → Ausnahmeanordnung *R* Rücksetz-/Löscheingang; gilt sinngemäß für lfd. Nr. 2
4	Ein- und Ausgänge mit Verknüpfungen	E1 E2 E3.1 1od.& E1 t/0 RM1 RM2.1 1 R	auch bei einer UND-Verknüpfung kann das zuständige Logiksymbol eingezeichnet werden
5	Programmlinien, Verzweigungen	4 SRT 1 5.1 SRT 5.2 SRT 5.3 SRT	Kennzeichnung am Verzweigungspunkt: & oder 1 & alle Zweige werden durchlaufen 1 nur ein Zweig wird durchlaufen
6	Konnektoren; Programmkonnektoren Signalflußkonnektoren	3 3 xx xx xx xx Absprung Einsprung	Unterbrechungsstelle auf verschiedenen Plänen Unterbrechungsstelle auf gleichem Plan (auch bei mehreren Blättern, entsprechende Zielbezeichnungen sind zu vereinbaren, mehrere Zielpunkte sind möglich)
7	Simulations- und Prüfpunkte	xxx xxx Simulation Prüfbuchse	Ortskennzeichnung (xxx) in der Steuereinrichtung (SE) notwendig, auch mehrfach für verschiedene, aber gleichartig aufgebaute SE

[1]) Die geometrischen Abmessungen sind variabel und somit der Signalzahl anpaßbar.

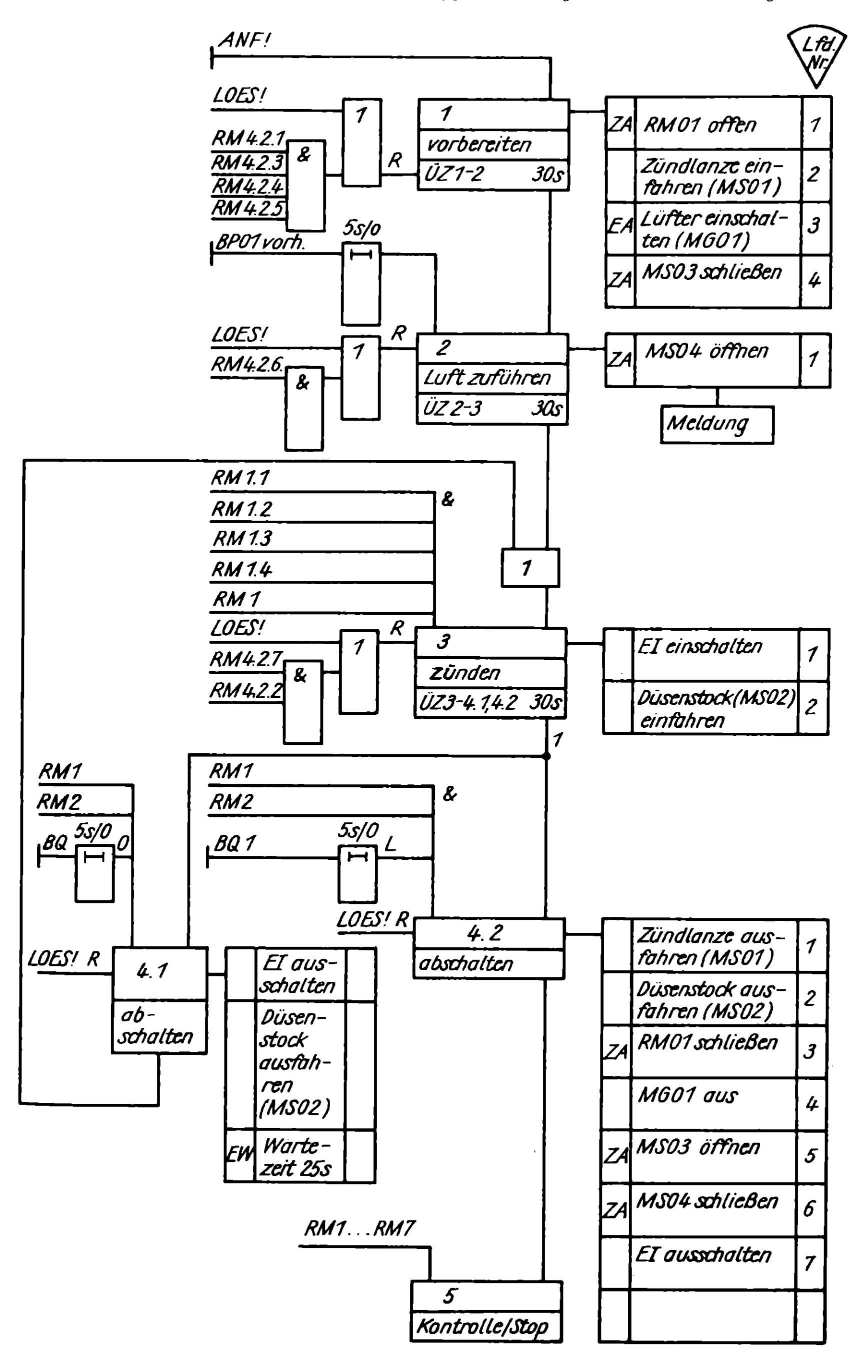


Bild 6.2.2. Prozeßablaufplan (PRAP) Zündölbrenner

Tafel 6.2.4. Signalkurzzeichen (Befehle, Zustands- und Rückmeldungen)

Befehl		Zustands- bzw. Rückmeldung	
ABF!	Abfahren	ABGF	abgefahren
ANF!	Anfahren	ANGF	angefahren
AUF!	Auffahren	AUF	aufgefahren
AUS!	Ausschalten	AUS	ausgeschaltet
		AUT	Automatik
AUTA!	Automatik ausschalten	AUTA	Automatik ausgeschaltet
AUTE!	Automatik einschalten	AUTE	Automatik eingeschaltet
E1!	Einschaltimpuls 1		
E2!	Einschaltimpuls 2		
EIN!	Einschalten	EIN	eingeschaltet
FB!	Fortschaltbedingung	FB	Fortschaltbedingung
FR!	Freigabe	FR	Freigabe
FANF!	Freigabe Anfahren		
FABF!	Freigabe Abfahren		
FRS!	Freigabe Speichern	FRGS	Freigabe gespeichert
HLT!	Halt		
LOES!	Löschen		
		LZUE	Laufzeitüberschreitung
		MELD	Meldung
QUIT!	Quittieren		
VO!	Vor-Ort-Betrieb	RM	Rückmeldung
		SRT	Schritt
		ST	Störungsmeldung
ZU!	Zufahren	ZU	zugefahren
VW!	Vorwahl	VW	Vorwahl

(lfd. Nr. 2) wird rechts neben der Operation angeordnet. Bei der Kennzeichnung seiner Wirkung kommen wiederum Klartext als auch codierte Erläuterungen zur Anwendung. Auf eine Zählnummer C kann verzichtet werden, sofern eine Weiterverwendung vollständig ausgeschlossen ist. Ein- und Ausgänge werden systematisch geordnet angetragen (lfd. Nr. 3). Sind aber mehrere Eingänge (Fortschaltbedingungen) aktuell, läßt sich dieser Sachverhalt in Verbindung mit weiteren Logiksymbolen oder auch vereinfacht mit Ziffern darstellen (lfd. Nr. 4). Liefert lediglich der Vorläuferschritt ($n - 1$) diese Fortschaltbedingungen, werden sie entsprechend der Befehlsfolge dieses Taktes numeriert. Kommen sie auch aus weiter zurückliegenden Schritten, ist der Befehlsnummer die Schrittnummer voranzustellen.

Zur Kennzeichnung der Teilung des Programmablaufs (lfd. Nr. 5) wird am Verzweigungspunkt ein alphanumerisches Logiksymbol notiert (z. B. & – alle Zweige werden durchlaufen; 1 oder keine Kennzeichnung – nur ein Zweig wird durchlaufen). Von der Bedeutung der Markierung hängt dann auch das Löschen des davor befindlichen Schritts ab, entweder alle Teilschritte (Fall &) führen oder nur ein Teilschritt (Fall 1) führt zum Rücksetzen.

Ein Ausführungsbeispiel zeigt Bild 6.2.2. Häufig im PRAP und anderen Beschreibungsmitteln verwendete Mnemoniks für Befehle bzw. Zustands- und Rückmeldungen faßt Tafel 6.2.4 zusammen, wobei ein Befehl ein „!" nach der Buchstabenkombination erhält. Im allgemeinen gelangen nur Großbuchstaben zur Anwendung. Umlaute sind durch zwei Buchstaben auszudrücken. Der Signalkurzbezeichnung voran- oder nachgestellte Ziffern dienen der Unterscheidung zwischen verschiedenen Aggregaten oder gleichwertiger Signaleingänge der gleichen Einrichtung. Sofern in Verbindung mit der eingangs erwähnten „Konfektionierung" der gleiche Ablaufplan für mehrere technologische Komplexe (Aufgaben) Anwendung finden kann, wird er nur einmalig mit allgemeingültigen Bezeichnungen gezeichnet, denen in ergänzenden Tabellen die spezifischen Bedeutungen zugewiesen werden.

Tafel 6.2.5. Symbole für Programmablauf- (PAP) und Steuerungsablaufplan (STAP)

Lfd. Nr.	Bezeichnung	Symbol	Erläuterungen
1	Grenzstellen	START HALT STOP	HALT bei Zwischenhalt
2a)	Operation im PAP (Kästchenmethode)	xxx	xxx Erläuterungen
2b)	Operation im PAP (Linienmethode)	xxx yyy	xxx, yyy Erläuterungen (auch Aus-/Eingabe, programmtechnische Erläuterungen, wie Speicheradressen, Variable, Merker u. a.)
2c)	Operationen (Anweisungen/ Zustände im STAP)	xxx (z.B. Fördern) S P; S1 P1 S2 P2.1 S3.1 P2.2 S3.2 S4	Erläuterungen sind vorzugsweise rechts zu schreiben, z. B. *S* bzw. *SRT* Schritte der Steuerung, *P* dazugehörige Prüf- bzw. Fortschaltbedingungen für den nächsten Schritt, arithmetische Operationen, Ein- und Ausgaben u. ä.
3	Ausgabe-/Eingabeoperation (Kästchenmethode)	xxx	xxx Erläuterung
4a)	Verzweigung nach Vergleichsoperation Kästchenmethode	x=0? n j	Beantwortung des Vergleichs: n bzw. 0 nein j bzw. 1 ja

Tafel 6.2.5 (Fortsetzung)

Lfd. Nr.	Bezeichnung	Symbol	Erläuterungen
4b)	Linienmethode	x=0? 0 1 y=1? 0 1 Hauptlinie	
5	Zusammenführen von Linien	4 4	Verwenden von Konnektoren bei fehlendem Beschriftungsraum rechts der Hauptlinie (vgl. Tafel 6.2.3 (6)) Die Hauptlinie ist gerade zu führen und nicht zu kreuzen
6a)	Bemerkungszuordnung (Kästchenmethode	xxx	xxx Erläuterung
6b)	Bemerkungszuordnung (Linienmethode)	xxx xxx xxx	Bemerkungen und Parameterangaben (z. B. Variable, Zahlenbereich, Anfangs- und Resultatwerte bei UP)
7	Unterprogramm (Programmteil)	UP	UP Name des Unterprogramms

Tafel 6.2.5 (Fortsetzung)

Lfd. Nr.	Bezeichnung	Symbol	Erläuterungen
8	Variabler Konnektor	i=1...3 Ai A1 A2 A3	Verzweigung nach festgelegter Bedingung: $Ai = A1 \vee A2 \vee A3$
9	Kennzeichnung	xxx	lfd. Nr. im Zeichnungsverzeichnis (Nutzung zum Kennzeichnen von Programmflußkonnektoren)

6.2.3. Programmablaufplan (PAP)

Eine gleichermaßen Verzweigungen und damit Entscheidungen zulassende Deskriptionsform ist der Programmablaufplan [6.22] [6.38] [6.39], hervorgegangen aus den Flußdiagrammen zur Erläuterung von Programmen schneller Digitalrechner. Obwohl für alle Steuerungsarten auch mit

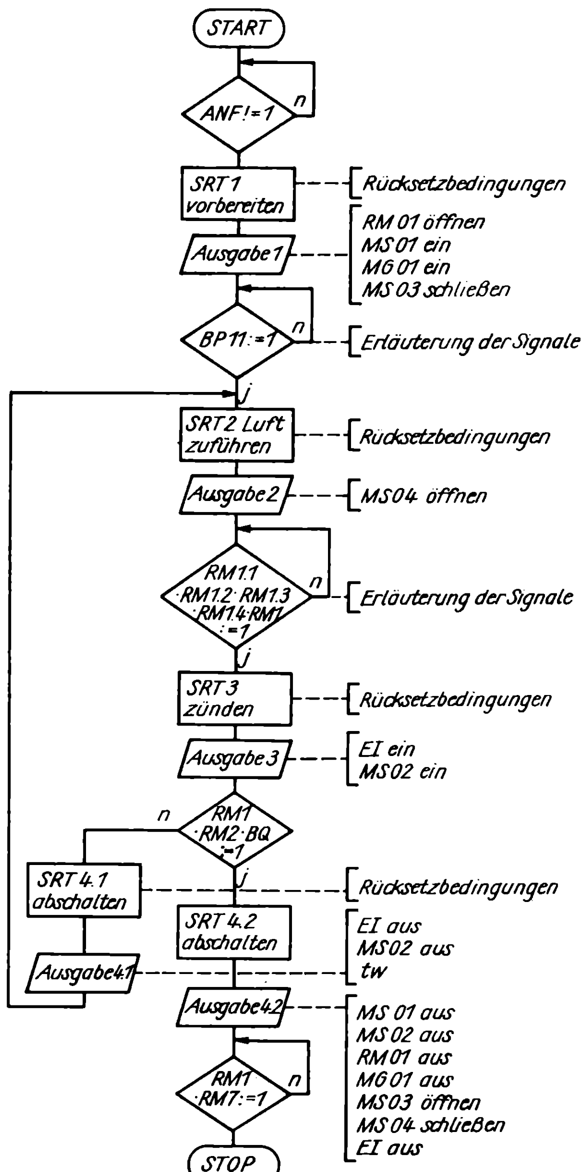


Bild 6.2.3
Anwendung des Programmablaufplans (PAP, Kästchenmethode), Zündölbrenner

vermaschter Strukturierung geeignet, gelangt er vorzugsweise bei der Beschreibung von Aufgaben für schnelle Steuerungen mit zyklischer Arbeitsweise und Arithmetikanteil zum Einsatz. Aufbauend auf den Festlegungen von TGL 22451, sind zwei Ausführungsformen üblich. Mit der „Kästchenmethode" (Symbole lfd. Nr. 1, 2a, 3, 4a, 5, 6a, 7 nach Tafel 6.2.5) wird überwiegend die Aufgabenstellung aus technologischer Sicht formuliert. Die aufwandsärmere ausschließliche Nutzung von Programmlinien (Symbole lfd. Nr. 1, 2b, 4b, 5, 6b, 7 nach Tafel 6.2.5) bietet sich insbesondere dann an, wenn eine höhere Auflösung in Teilaufgaben mit Elementaroperationen (etwa zum Zweck der detaillierten Beschreibung des Ablaufs der Informationsverarbeitung innerhalb der Steuereinrichtung oder für die Programmnotierung) und damit ein größerer Abstraktionsgrad gefordert sind. Diese Vorzüge gestatten die Anwendung des PAP eben nicht nur als Aufgabenbeschreibung, sondern auch als Dokumentationsunterlage für das Entwurfsergebnis (Funktionsbeschreibung), als Prüfunterlage und Fehlersuchanleitung für Fertigung und Inbetriebsetzung.

Das Ausführungsbeispiel, Bild 6.2.3, demonstriert trotz vergleichbaren Zeichnungsaufwands gegenüber dem PRAP eine deutlich geringere Aussagekraft, da solch wichtige Informationen, wie Zeitbedingungen, Nutzung der Ausgangsbefehle, Rückwirkungen u. ä., nur mit zusätzlichen, die Übersichtlichkeit störenden Textzuweisungen zu den Symbolen erkauft werden. Die Zählung bei den Fortschaltbedingungen (E, RM) kann ebenso wie beim PRAP, aber auch als durchgehende Numerierung vereinbart werden. Es gelten natürlich die gleichen technologischen Kurzbezeichnungen (Tafel 6.2.4).

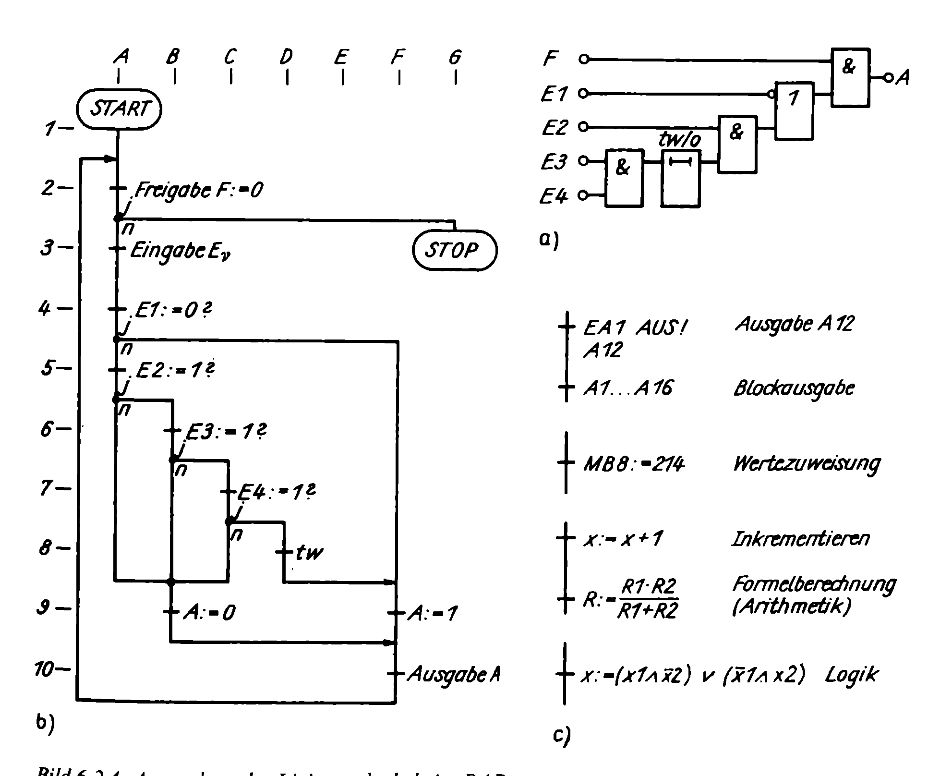


Bild 6.2.4. Anwendung der Linienmethode beim PAP

a) Logikplan; b) Ausführung von a) mit PAP; c) Beispiele für andere Operationen

Bild 6.2.4 veranschaulicht die Anwendung der „Linienmethode" am Beispiel der programmierfreundlichen Aufbereitung einer einfachen Verknüpfungssteuerung und für andere vorzugsweise arithmetische Operationen. Daß der PAP auch ein geeignetes Beschreibungsmittel für methodische Vorgehensweisen ist, zeigen u. a. die Bilder 6.1.1 und 6.2.1.

6.2.4. Steuerungsablaufplan (STAP)

Eine weitere ebenso anschauliche Version zur grafischen Darstellung einer bedingten Operationsfolge ist ebenfalls auf die ausschließliche Nutzung von Programmlinien gegründet [6.35]. In dieser Mischung aus PAP und Logikplan werden als Zeichnungselemente die Symbole lfd. Nr. 6, 7 der Tafel 6.2.3 sowie in Tafel 6.2.5 die Symbole lfd. Nr. 1, 2c, 5 verwendet. Die Schritte auf der Programmlinie (S, SRT) sowie dazugehörige Prüf- bzw. Fortschaltbedingungen erhalten eine bei 1 beginnende fortlaufende Numerierung für jeden STAP, die auf ihrer rechten Seite eine ergänzende Klartextbeschriftung erhalten kann. Bei Verzweigungen erscheint zusätzlich die Zweigziffer (z. B. P2.1, S3.1, P2.2, S3.2). Auf die Laufzeitüberwachung deutet das parallel zur Programmlinie verlaufende Zeichen für ein Verzögerungs-/Zeitglied. Eine für den Zündölbrenner gültige Darstellung zeigt Bild 6.2.5. Grundsätzliche steuerungstechnische Funktionen, wie z. B.

- Halt nach Laufzeitüberschreitung
- Freigabebedingungen (vgl. Bild 6.2.2)
- Meldeprinzipien

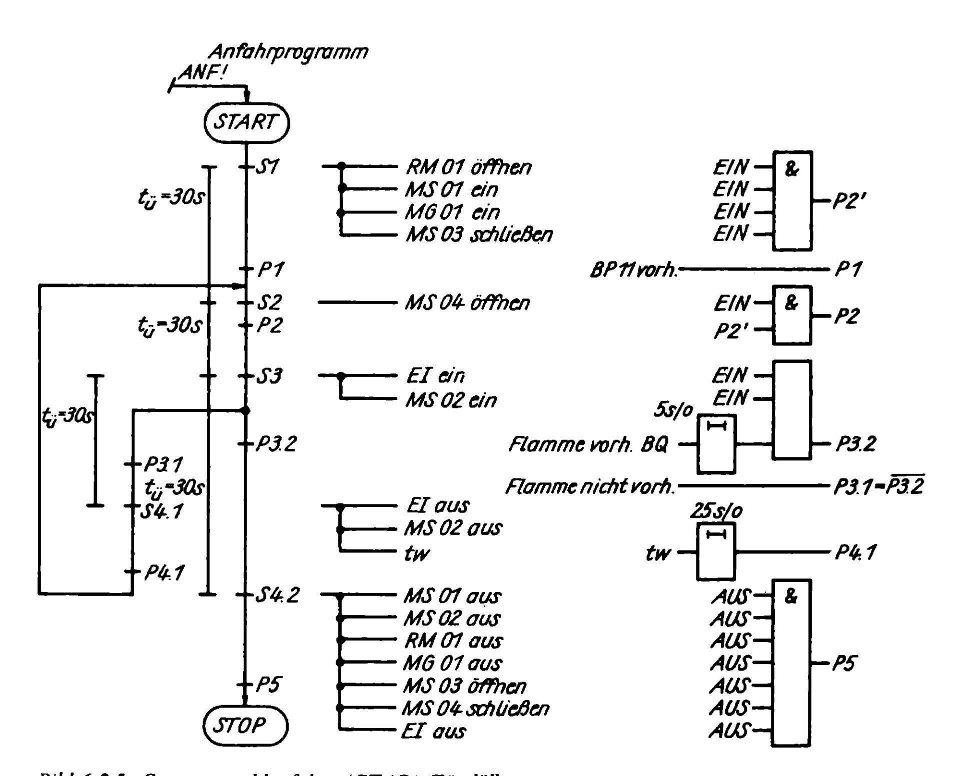


Bild 6.2.5. Steuerungsablaufplan (STAP) Zündölbrenner

– Anfahrwarnung
– Vorrangorganisation u. ä.,

enthält ein STAP allerdings nicht. Sie sind daher gesondert mit dem Auftraggeber zu vereinbaren.

Das Verwenden des STAP (oder der anderen Ablaufpläne) für Prüf- und Inbetriebsetzungsaufgaben sowie für Servicezwecke erleichtert die Aufnahme von Simulations- und Prüfpunkten (Tafel 6.2.3, lfd. Nr. 7). Sie werden in die Signallinien einbezogen. Besondere Rücksetzbedingungen für bestimmte Schritte erfordern Textzuweisungen entsprechend Bild 6.2.3.

Tafel 6.2.6. Symbole für Zustandsgraph und Steuergraph

Lfd. Nr.	Bezeichnung	Symbol	Erläuterungen
1a)	Knoten (Zustand, Operation)	a) A b) A/B	*A* lfd. Nummer Zi ($i = 1 \dots n$) *B* codierter Zustand (Form b wird dann genutzt, wenn Zi durch mehr als 1 bit gekennzeichnet wird); Interpretation als Digitalzahl möglich
1b)	Knoten, markiert	A· A·/B	Die Markierung bedeutet, der dazugehörige Speicher ist gesetzt.
2a)	Kante (Zustandsgraph)	Zn-1 —E1,E2...En→ Zn	Bedingungen Ei ($i = 1 \dots n$) zum Erreichen des neuen Zn sind konjunktiv verknüpft
2b)	Kante (Steuergraph)	Zn-1, E1|E2...|En, A1, A2, ⋮, An, Zn	Ai ($i = 1 \dots n$), Wirkungen des Zustands $Zn - 1$ (Ausgänge) Ei ($i = 1 \dots n$), Bedingungen zum Erreichen des neuen Zustands
2c)	Kante (Zustandsgraph bei Systemen mit Knoten, Form 1b)	Zn-1 —E1 E2 E3/A1 A2, H L H/HL→ Zn	Die Wertigkeiten der Bedingungen Ei und der dadurch hervorgerufenen Wirkungen Ai werden an der Kante angetragen. Diese Kombination kann auch als Digitalzahl interpretiert werden.
	Kante als Warteschleife	Zn, Ei	Bedingungen Ei zwingen zum Verweilen im Zustand Zn.
3	Verzweigung	Zn	Zn wird unter Einhaltung (ggf.) unterschiedlicher Bedingungen alternativ parallel oder disjunktiv über zwei oder mehrere Kanten verlassen.
4	Zusammenführen von Kanten	Zn	Zwei oder mehr Kanten führen disjjunktiv oder konjunktiv zum Setzen (Markieren) des Zustands Zn

6.2.5. Zustands- und Steuergraph

Eine weitere übersichtliche Beschreibungsmöglichkeit von Steuerungsproblemen ist mit dem Zustandsgraphen gegeben [6.40]. Diese Form – in [6.21] auch als Übergangsgraph bezeichnet – besteht aus Knoten und Kanten, wobei den Knoten *Zn* die Systemzustände zugewiesen werden und die Kanten zwischen zwei beliebigen Zuständen (gerichtete Verbindungslinie) mit den sich aus den Eingangssignalen ergebenden Überführungsbedingungen bewertet werden. Damit lassen sich neben Schleifen ebenfalls Verzweigungen sowohl für eine Alternative (nach einer Vergleichsoperation) als auch für eine parallele Weiterbearbeitung abbilden.

Seine Anwendung kommt für alle Arten von Steuerungen einschl. digitaler in Betracht, sofern ein Zustand (Befehlsausgabeschritt) formal immer als Speicher (ggf. mit unendlich kurzer Haltezeit) angesehen wird. Wie die nutzbaren Symbole (Tafel 6.2.6) zeigen, kann hierbei der aktuelle gesetzte Zustand elegant durch eine Marke gekennzeichnet werden. Diese Eigenschaft gewinnt dann an Wert, wenn es gilt, den Signalfluß – etwa auf einem Display – zu verfolgen. Eine Marke kann nur bei Erfüllung aller auf den nächsten Knoten hinweisenden Bedingungen *Ei* wandern.

Bild 6.2.6a zeigt eine praktische Ausführung für das gewählte Beispiel. Der immer zu definierende Anfangszustand ist der Knoten *Z1*. Zur zusätzlichen Erläuterung können Überführungs- und Ergebnistabellen herangezogen werden (Bild 6.2.7). Beschreibt die Überführungstabelle die Folgezustände und die zu ihnen hinführenden Bedingungen (Vorzustand, aktuelle Eingangsvariable), gibt im Unterschied dazu für die gleichen Bedingungen die Ergebnistabelle die Wirkungen (Ausgänge) dieses neuen Zustands an.

Eine modifizierte Variante – der Steuergraph [6.41] [6.42] [6.43] – führt, wie Tafel 6.2.6, Symbol lfd. Nr. 2b und Bild 6.2.6b ausweisen, Fortschaltbedingungen und beabsichtigte Wirkungen eines gesetzten Zustands in die Grafik direkt ein.

Daß dieser Graph sich besonders gut für den Entwurf im Bereich der Gatterebene (Hardware, Software, vgl. Tafel 6.2.2) eignet, wird am Beispiel einer häufig notwendigen problemspezifischen Ergänzung eines universellen Gerätesystems erläutert. Es handelt sich dabei um ein taktsynchrones

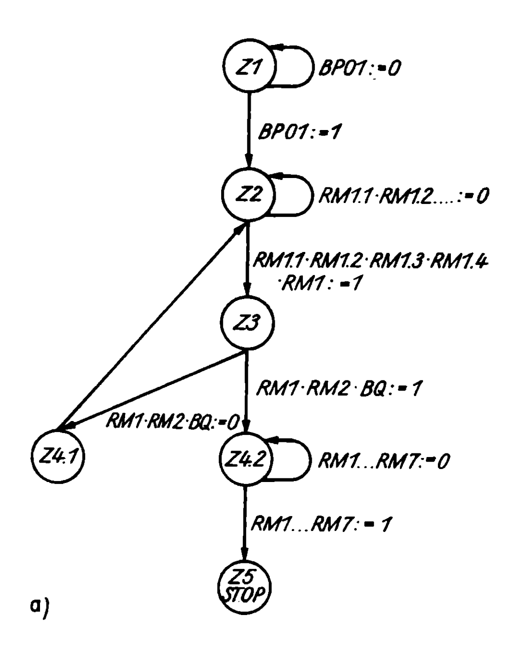
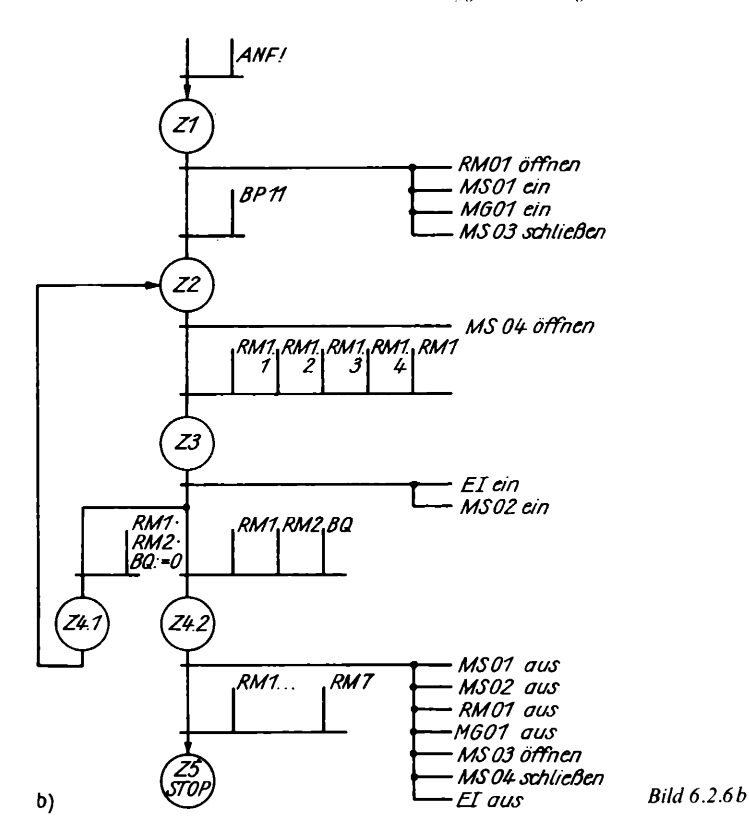


Bild 6.2.6
Graphendarstellung Zündölbrenner

a) Zustandsgraph
b) Steuergraph



b)

Bild 6.2.6b

a)

Vorzustand	Eingangsvariable Ei (Signalzustände)		
	E1	E2 E3	E4 E5
Zn-1	Folgezustand Zn	Zn+1	Zn-1
Zn	Zn	Zn-1	Zn+1
Zn+1	Zn+1	Zn-1	Zn

b)

Vorzustand	Eingangsvariable Ei		
	E1	E2 E3	E4 E5
Zn-1	Ausgangssignale An	An+1	An-1
Zn	An	An-1	An+1
Zn+1	An+1	An-1	An

Bild 6.2.7. Zustandstabellen

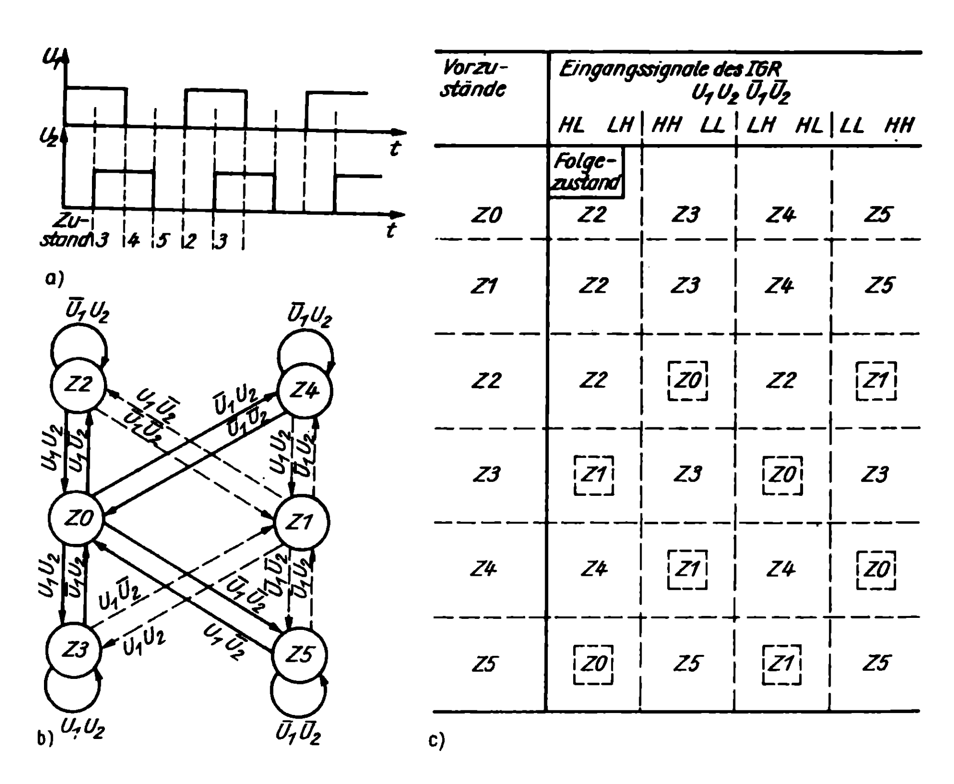
a) Überführungstabelle; b) Ergebnistabelle

Schaltwerk, aufgebaut nach dem Prinzip des Moore-Automaten, das die frequenzanalogen Signale einer inkrementalen Drehzahlmeßeinrichtung (IGR) aufbereitet, auswertet und sie anschließend zum Konvertieren in eine Digitalzahl einem Zähler übergibt [6.47] [6.48].

Im einzelnen werden damit folgende Aufgaben erfüllt:

- Drehrichtungserkennung des Antriebs, z. B. Ausgabe auf Kanal *1* ≙ Drehrichtung *1*, Ausgabe auf Kanal *2* ≙ Drehrichtung *2*
- wahlweise Frequenzvervielfachung jeweils auf dem entsprechenden Kanal *1* oder *2*
- von der Drehrichtung unabhängige Ausgabe der verdoppelten bzw. vervierfachten IGR-Frequenz mit gleichzeitiger Bildung eines statischen Signals zur Anzeige von Rechts- bzw. Linkslauf („1" bzw. „0")
- Synchronisieren der Impulse mit einem externen Takt.

Eine Betrachtung der IGR-Impulse (Bild 6.2.8a) läßt vier Zustände *Z2* ... *Z5* ($U_1\,\bar{U}_2$, $U_1\,U_2$, $\bar{U}_1\,U_2$, $\bar{U}_1\,\bar{U}_2$) erkennen. Die Reihenfolge ihres Auftretens wird von der Drehrichtung bestimmt, da sich danach das Vorzeichen der Phasenverschiebung (±90° el.) zwischen zwei Impulsfolgen richtet. Jeder Zustandswechsel, also jede Impulsflanke, soll im Fall der Vervierfachung einen zusätzlichen Impuls erzeugen. Zu diesem Zweck macht es sich erforderlich, für die Dauer einer Taktperiode zwei weitere Zustände *Z0*, *Z1* zu definieren, deren Decodierung die gewünschten Signale liefert. Der Kanal, der diese Impulse mit der vervierfachten Frequenz ausgibt, wird von einem der Vorzustände *Z2* ... *Z5* und somit von der aktuellen Drehrichtung bestimmt. Der Be-



Vorzustände	Eingangssignale des IGR U_1U_2 $\bar{U}_1\bar{U}_2$ HL LH	HH LL	LH HL	LL HH
	Folgezustand			
Z0	Z2	Z3	Z4	Z5
Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
Z2	Z2	[Z0]	Z2	[Z1]
Z3	[Z1]	Z3	[Z0]	Z3
Z4	Z4	[Z1]	Z4	[Z0]
Z5	[Z0]	Z5	[Z1]	Z5

Bild 6.2.8. Entwurf eines taktsynchronen Schaltnetzwerkes mittels Zustandsgraphen

a) Eingangsvariable (IGR-Impulse); b) Zustandsgraph; c) Überführungstabelle

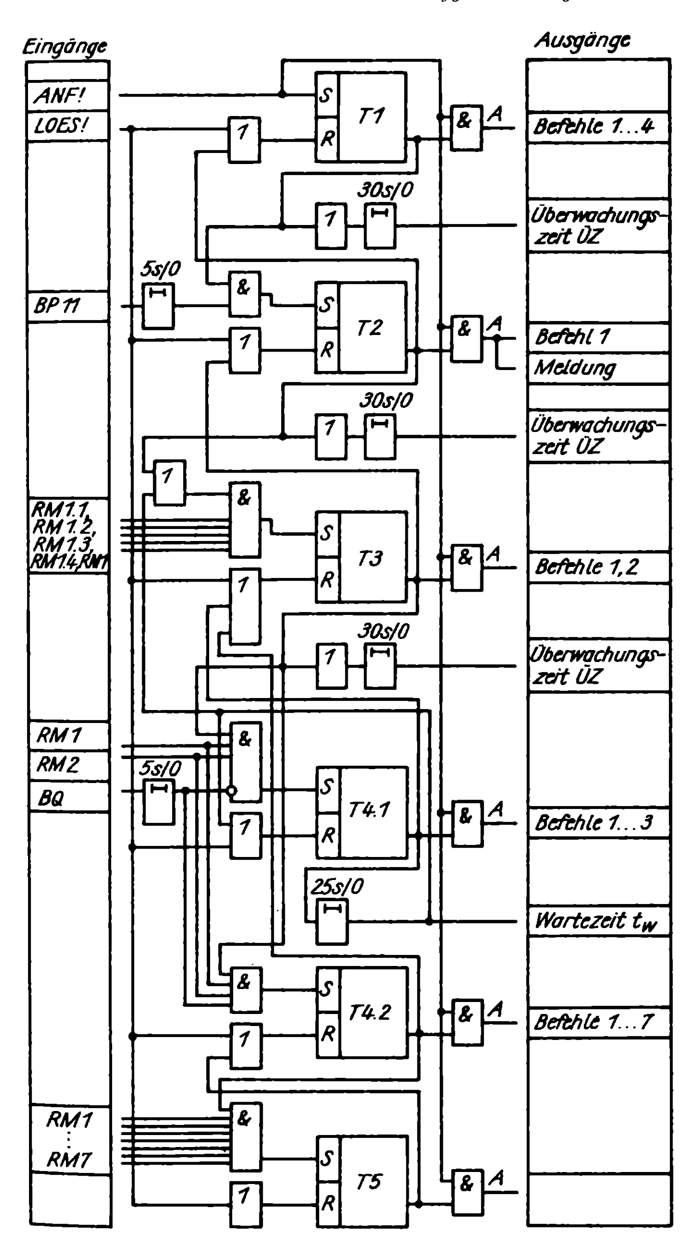


Bild 6.2.9. Logikplan (vereinfacht) für das Beispiel Zündölbrenner

schreibung dieser insgesamt sechs verschiedenen Zustände dient ein 3 bit breites Digitalwort, ihre Darstellung benötigt ein aus drei Speichern (Flipflop) bestehendes Register. Dabei erfolgt die Zuordnung eines Zustands zu einer der acht möglichen Bitkombinationen (zwei bleiben unbenutzt) willkürlich. Aus dem Zustandsgraphen (Bild 6.2.8b) wird die Überführungstabelle (Bild 6.2.8c) abgelesen, mit deren Hilfe sowohl eine minimierte Schaltkreislösung als auch die erforderliche Eingangs-/Ausgangsbelegung eines EPROM-Schaltkreises zur Realisierung des kombinatorischen Teiles des sequentiellen Netzwerkes gewonnen werden kann. Allerdings gelingt die Aufwandsminimierung bei der Hardware-Variante nur in Verbindung mit weiteren Methoden (etwa mit Karnaugh-Veitch-Diagrammen u. ä.) [6.48]. In dem Speicher dagegen kann der vollständige Zustandsgraph sofort abgelegt werden, und jeder Zustand wird ohne Zwischenschritte erreicht. Die Decodierung übernimmt ebenfalls der gleiche Schaltkreis. Sofern einer der Zustände *Z0* bzw. *Z1* am Ausgang (Folgezustand) ansteht, liefern zwei weitere Ausgangsleitungen wahlweise 1-Signal (Kanal *1* bzw. *2*).

Interpretiert man nun solche Bitkombinationen in den Knoten und an den Kanten als Digitalzahl, lassen sich somit auch digitale Steuerungen bzw. arithmetische Aufgaben abbilden [6.45] [6.46].

Beide Graphentypen gehören zur Klasse der endlichen gerichteten Graphen [6.44] und entsprechen einer modifizierten Form des aus der Informationstheorie bekannten Automatengraphen. Mit ihnen ist eine Aufwandsminimierung möglich [6.21] [6.41] [6.42].

6.2.6. Logikplan

Der Logikplan [6.108] (Elemente nach TGL 16056, s. auch Abschn. 2.2.1.) – in seiner Struktur bereits die Lösung des Problems ausdrückend – ist demnach kein reines Aufgabenbeschreibungsmittel für ein Steuerungsproblem. Ausnahmslos gilt dies für die Realisierung in verbindungsprogrammierter Technik. Für eine SPS kann diese Darstellungsform bedingt diese Funktion übernehmen, indem sie nämlich bei Verfügbarkeit einer der problemnahen Notation zugänglichen Programmiersprache den Ausgangspunkt für die Anwenderprogrammerarbeitung bildet. Der Logikplan wird daher vorzugsweise dann benutzt, wenn

– es sich um bereits vorhandene Lösungen handelt, die in speicherprogrammierbare Technik umgesetzt werden sollen,
– eine zeitunkritische, also langsame Steuereinrichtung geringer Komplexität, aber mit hohem kombinatorischem Anteil zu projektieren ist.

Im zuletzt genannten Fall kann aber trotzdem eine Vorstufe mit Mitteln nach den Abschnitten 6.2.2. bis 6.2.5. zweckmäßig sein.

Im allgemeinen ist der Logikplan (Bild 6.2.9) das Ergebnis der Umsetzung der formalisierten Aufgabenstellung in eine konkrete Lösung. Die Umwandlung wird erleichtert, wenn für die Realisierung einer Operation bzw. eines Zustands eine typisierte Schaltung (z. B. Bild 6.2.10) be-

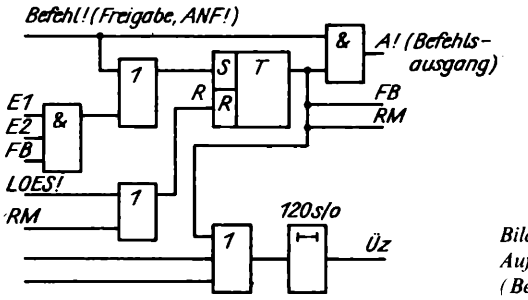


Bild 6.2.10
Auflösung eines Taktes (Beispiel)

reitsteht, deren Ein- und Ausgänge dann nur noch geeignet zu verknüpfen sind. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind im Beispiel die Überwachungsschaltungen entfallen. Außerdem verbessern Gestaltungsrichtlinien (z. B. Wirkungsrichtung, seitengetrennte Anordnung der Ein- und Ausgänge, Rasteranordnung der Elemente, Verwendung von Bezeichnungsleisten) die Überschaubarkeit.

6.2.7. Weitere Beschreibungsformen und Bewertung

Neben den geschilderten Beschreibungsformen haben für den Entwurf auch
- Programmablaufgraph (PAG) [6.49] und
- Petri-Netz [6.50] [6.51] [6.109]

praktische Bedeutung erlangt. Der PAG stellt mehr eine prozedurale Beschreibungsform dar, deren Struktur aus Elementaroperationen (Zustände mit Zuordnung der Ausgangsvariablen) und Verzweigungen (mit Zuordnung der Eingangsvariablenbedingungen) sowie den sie verbindenden gerichteten Kanten aufgebaut ist (Bild 6.2.11). Dagegen ist das Petri-Netz – ebenfalls ein gerichteter Graph – deskriptiver Natur und entspricht dem Zustandsgraphen, ergänzt um die Transition, die eine von den Eingangsvariablen abhängige Überführungsbedingung darstellt. Ein Informationsfluß tritt nur dann ein, wenn zusätzlich zur Überführungsbedingung auch alle zu einer Transition hinweisenden Knoten (Zustände) markiert sind (Bild 6.2.12).

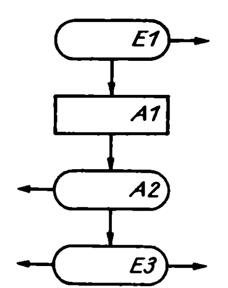


Bild 6.2.11. Programmablaufgraph (PAG), Grundelemente

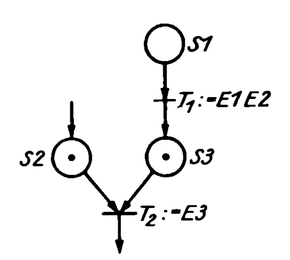


Bild 6.2.12. Petri-Netz, Grundelemente

Zusammenfassend bleibt festzustellen, daß sich in der Steuerungstechnik keine einheitliche Notierung durchgesetzt hat. Gemeinsam aber ist allen, also auch den infolge ihrer praktischen Bedeutung hier vorgestellten Methoden, daß im Wechsel Zustände (bzw. Operationen) und Entscheidungen (bzw. Bedingungen für einen Folgezustand) abgebildet werden. Dabei ist einmal zwischen der Gruppe der prozeduralen – wie PAP, PAG – sowie der deskriptiven Beschreibungsmittel – wie PRAP, STAP, Zustandsgraph, Petri-Netz – zu unterscheiden.

Alle Versionen gehören zur Klasse der gerichteten Graphen, was auch in der grundsätzlichen Ähnlichkeit der zeichnerischen Darstellung zum Ausdruck kommt. In der Hauptsache werden Kreise, Rechtecke und gerichtete Verbindungslinien benutzt. Die Unterschiede kommen in ihrer definitionsgemäßen Bedeutung, d. h. in der Semantik der Symbole, zum Tragen.

Ein weiteres Klassifikationsmerkmal ergibt sich aus dem Technologiebezug. Einmal besitzen die Mittel eine deutliche Ausprägung in dieser Richtung (Prozeß-, Steuerungsablaufplan), zum anderen können sie mehr abstrahieren und jede einzelne Grundfunktion der Informationsverarbeitung zur Realisierung der Steuerungsaufgabe (Programmablauf-, Logikplan) darstellen.

Die zweite Gruppe gestattet i. allg. besser die unmittelbare Umsetzung in eine gerätetechnische oder Software-Lösung (bevorzugt auf der Modulebene), während die prozeßnähere Notation die weitere Verfeinerung oder die in modernen Systemen immer gegebene Verfügbarkeit kom-

Tafel 6.2.7. Anwendungsgebiete und wesentliche Merkmale von in die industrielle Praxis eingeführten Beschreibungsmitteln

Beschreibungsmöglichkeiten			Anwendbarkeitskriterien					
Lfd. Nr.	Form	Mittel	Beschreibbare Steuerungen (Vorzugsanwendungen)	Problemorientierung	Darstellung von Verzweigungen, Parallelabläufen, Sammlungen	Dekomponierbarkeit (Auflösungsvermögen)	Realisierungsfreundlichkeit	SPS-Eignung
1	verbal	Umgangs-, Fachsprache	alle Arten	–	–	–	–	–
2	grafisch prozedural	PAP Programmablaufplan	zeit- und prozeßgeführte Ablaufsteuerungen; schnelle, auch zyklisch arbeitende Verknüpfungssteuerungen mit Arithmetikanteil, Digitalsteuerung	+	O	+	+	+
3		PAG Programmablaufgraph	entsprechend PAP, Arithmetikanteil bedingt	O	O	+	O	+
4	grafisch, deskriptiv	PRAP Prozeßablaufplan/Funktionsplan	zeit- und prozeßgeführte Ablaufsteuerungen (mit Arithmetikanteil)	+ +	+	+	+	+
5		STAP Steuerungsablaufplan	prozeß- und (bedingt) zeitgeführte Ablaufsteuerungen	+	+	+	O	O
6		Zustandsgraph (Steuergraph)	prozeßgeführte Ablaufsteuerungen, Verknüpfungs- und sequentielle Steuerungen, bedingt arithmetische Probleme	O	+	+	+	+[2)]
7		Petri-Netz	entsprechend Zustandsgraph	O	+	+	+	+
8	grafisch, funktionell-hardware-orientiert	Logikplan	alle Arten	O	O	+	+	O

+ geeignet; O bedingt geeignet; – ungeeignet

Anwendbarkeitskriterien

Verarbeitungs-möglichkeit (Eignung für Rechnerstützung)	Dokumentations-eignung (Identitätsgrad, Druckfähigkeit)	Kombinations-fähigkeit	Kontrolle des Informations-flusses	Codierungs-/Darstellungs-aufwand	Beschränkung bei umfang-reichen Steue-rungen	Abschnitt Lit.	Bemerkungen
–	–	–	–	hoch	ja		unvollkommen, mehrdeutig, bedingt als Grobaufgabenstellung geeignet
+	O	+	+	gering,[1]) mittel	nein	6.2.3. [6.31] [6.33] [6.38]	[1]) für Programmlinien
+	O	+	O	mittel	nein	6.2.7. [6.49]	
+	+	+	O	mittel	nein	6.2.2. [6.34] [6.37]	
O	+	+	O	gering	nein	6.2.4. [6.35]	Mittel der Wahl im Vergleich zum PRAP (4)
+	O	+	+	gering	ja	6.2.5. [6.40] [6.41] [6.42] [6.43] [6.45] [6.46] [6.47]	[2]) besonders geeignet für EPROM-Realisierung von Verknüpfungssteuerungen sowie bei stark vermaschten Strukturen
+	O	O	+	gering	ja	6.2.7. [6.50] [6.51]	
–	+	–	–	hoch	nein	6.2.6.	

plexerer Module zur Verwirklichung erfordert. Oft werden beide Möglichkeiten nacheinander erarbeitet und genutzt bzw. kombiniert. So sind trotz der prinzipiellen Gemeinsamkeiten aufgrund der vorhandenen Unterschiede im Darstellungsspielraum für die einzelnen Verfahren differenzierte Anwendungsgebiete zu empfehlen.

Alle Varianten gestatten das zum Ausschöpfen aller technologisch zulässigen Bedingungen notwendige schrittweise Vorgehen sowie bei Existenz geeigneter (ggf. komplexer) typisierter Hardware- und/oder Software-Module eine unmittelbare Umsetzung in die gewünschte Lösung, wobei natürlich der Auflösungsgrad der Aufgabennotation an die Realisierungsmöglichkeiten anzupassen ist. Sofern etwa Taktkettenmodule zum Einsatz gelangen, setzt überwiegend der Schritt $n + 1$ den Schritt n in den Ausgangszustand zurück. In diesem Zusammenhang wird selbstverständlich unterstellt, daß die ausgegebenen Stellbefehle in den nachgeordneten Antriebsgrundschaltungen der Antriebssteuerebene (vgl. Abschn. 4.) gespeichert werden.

Generell ist es für die weitere Verwendung der formalisierten Aufgabenbeschreibung im Entwurfsprozeß übersichtlicher, die ausführlichen technologischen Bezeichnungen durch alphanumerisch verschlüsselte Codierungen (αn) zu ersetzen. Zum Verfolgen des Informationsflusses (z. B. auf einem Kontrollmonitor) können nicht nur bei Zustandsgraph oder Petri-Netz die aktuellen Zustände geeignet markiert werden (stärker gezeichnete Kante eines Blockes o. ä.). Prüf- und Simulationspunkte fügen sich ohne zusätzlichen Aufwand übersichtlich nur bel PRAP und STAP ein.

Tafel 6.2.7 faßt die wesentlichen objektivierbaren Eigenschaften der vorgestellten Beschreibungsmittel zusammen. Eine Bewertung der Anwendbarkeitskriterien zeigt ein nahezu einheitliches Niveau. Geringe Vorteile lassen sich lediglich für PRAP und PAP erkennen, dank des ausgeprägten Technologie- bzw. Problembezugs beim ersteren, wegen Universalität im Anwendungsspektrum und Rechnerfreundlichkeit beim letzteren. Die kombinierte Anwendung bestätigt sich somit erneut als vorteilhaft.

Abgesehen von den Grenzen, die durch die Leistungsfähigkeit der verfügbaren Gerätetechnik bestehen, wird die Entscheidung zugunsten einer bestimmten Notationsform darüber hinaus sowohl von subjektiven Gesichtspunkten (Ausbildungsniveau und Tradition des Projektanten, Kundenwunsch, betriebliche Festlegungen u. ä.) als auch von nationalen und internationalen Normungsvorhaben beeinflußt.

6.3. Entwurf bzw. Projektierung

Ist die Erarbeitung der formalisierten widerspruchsfreien Aufgabenstellung, die Funktionssynthese also, abgeschlossen, beginnt gemäß Bild 6.1.1 die Entwurfsphase. Die Darstellung läßt erkennen, daß diese Etappe nur bedingt gerätetechnisch neutral ist, sondern in Abhängigkeit von der Entscheidung VPS – SPS ein differenzierter Arbeitsablauf erwartet werden kann. Von den zwei nacheinander zu lösenden Schritten — Logik- und die eigentliche Realisierungssynthese hat erstere an Bedeutung verloren. Lediglich für Serienerzeugnisse lohnt sich noch eine derartig gründliche Aufwandsminimierung, i. allg. sind ihr aber durch die umfassende Typisierung der zur Anwendung bereitstehenden Gerätefamilien (vgl. Abschn. 4.) ohnehin Grenzen gesetzt. Im Ergebnis der Realisierungssynthese liegt die konkrete Struktur der Prozeßsteuerung unter Beachtung und Einhaltung gegebener Randbedingungen vor (vgl. Tafel 6.2.1). Letztlich bieten sich dann auch in dieser Phase Hauptansatzpunkte für eine Rechnerstützung des Gesamtprozesses.

Bei ausgedehnten Anlagen befaßt sich dieser Arbeitsabschnitt mit zwei wesentlichen, naturgemäß aber sehr eng miteinander verflochtenen Komplexen: einmal mit der Projektierung der Komponenten und zum anderen mit der Anlagengestaltung. Erstere liefert im wesentlichen das „Innenleben" der Gefäße, die die informationsverarbeitenden Hardware-Einrichtungen (Baugruppensysteme) mit den ggf. zugehörigen Software-Komponenten aufzunehmen haben. Gegenstand der Anlagengestaltung dagegen ist ihre optimale Verbindung untereinander sowie mit dem Prozeß und den erforderlichen Bedien- und Meldeeinrichtungen. Sie schließt die Kopplungsbedingungen zwischen den Teilen einer Prozeßsteuerungsanlage ein, die zusätzlich (ggf. alternativ)

zum normalen betriebsmäßigen Signalaustausch in Störungssituationen, aber auch bei Betriebsartenumschaltungen zu erfüllen sind. In diesem Zusammenhang werden auch die dazu benötigten Hilfsmittel (Kabel, Verteiler, Kästen u. ä.) bestimmt. Eine Übersicht der insgesamt zur Verfügung stehenden Komponenten gibt noch einmal Tafel 6.3.1.

Die „Projektierung" stellt im Ergebnis die für alle weiteren Prozeßschritte nach Bild 6.1.1 erforderlichen Unterlagen bereit, die sich in einen projektunabhängigen (also durch den Projektanten nicht mehr zu bearbeitenden) und in einen projektabhängigen Anteil untergliedern (vgl. Abschn. 6.4.).

Grundsätzlich kann bei der Entwurfsphase eine Technologie mit Katalogstützung und eine Technologie mit Rechnerstützung unterschieden werden. Letztere Möglichkeit ist besonders bei SPS-Einsatz anzutreffen, zumal sie bei dem Software-Anteil unumgänglich ist. Aber auch eine Katalogprojektierung kann das rechnergestützte Erarbeiten bestimmter Projektunterlagen einschließen (vgl. Abschn. 6.3.4.).

Tafel 6.3.1. Komponenten zur Anlagengestaltung

Aktive Komponenten		Passive Komponenten	
Benennung	Funktion	Benennung	Funktion
IVA-Feld (Gestell oder Schrank)	IV ursalog 4000 (VP)	Verteilerfeld (Gestell)	Verbindung IV-Schaltanlage oder Warte
IVA-Schrank 5000 (BSE)	IV ursatron 5000 (SP)	Trennverteilerfeld (Gestell oder Schrank)	Trennung von Signalen
IVA-Schrank 5010	IV ursalog 5010 (SP)	Steuerkasten	Vor-Ort-Steuerung
SV-Felder (Gestell oder Schrank)	Bereitstellen 24 V/48 V GS; Anschluß an 3 PEN 380 V, 50 Hz	Zwischenklemmkasten	Zusammenfassen von Kabeln einer FG
Vor-Ort-Kasten	Drehzahl-Istwerterfassung (frequenzanalog)		
Bedienpult BP (PSR mit Display und Tastatur)	Prozeßkommunikation (im WB) seriell		
Datenbahnsteuerstation, ggf. im BP integriert	Steuerung Datenübertragung zwischen PB und WB		
Wartenrechner	Prozeßkoordinierung		
Konventionelle Bedienpulte	Prozeßkommunikation im PB und/oder WB parallel		

PSR Pultsteuerrechner; WB Wartenbereich; PB prozeßnaher Bereich (Steuerebene)

6.3.1. Projektierung der Hardware

6.3.1.1. Auswahl des Gerätesystems

Dieser Vorgang (Bild 6.1.1, Block 7) ist nur bedingt einer algorithmischen Bearbeitung entsprechend Bild 6.3.1 zugänglich. Neben den aus der Gegenüberstellung der Gerätetechniken gewon-

nenen, weitgehend alternativ bewertbaren Auswahlkriterien der Tafel 6.3.2 sind weitere Gesichtspunkte, wie

- bisheriger Ausrüstungsstand des Anwenders (insbesondere bei Ergänzungsinvestitionen)
- Qualifikationsniveau des Bedienungspersonals
- Notwendigkeit zusätzlicher Service- und Inbetriebsetzungsgerätetechnik
- Kosten
- Paßfähigkeit zum eingeführten Projektierungsprozeß (beim Projektanten),

zu berücksichtigen. Unter Umständen führen sie sogar zu einer Korrektur der nach Bild 6.3.1 gewonnenen Instrumentierung.

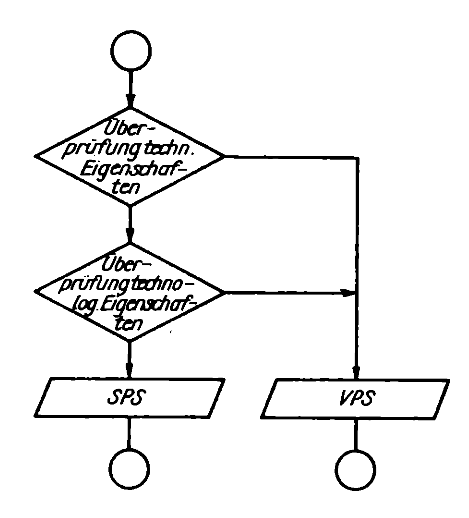


Bild 6.3.1
Gerätesystemauswahl VPS — SPS (vgl. auch Bild 6.1.1, Block 7)

Tafel 6.3.2. Auswahlkriterien zur Entscheidung zwischen VPS und SPS

Auswahlkriterien	Entscheidung für		Kombinierter Einsatz zweckmäßig
	VPS	SPS	
Technische Eigenschaften			
Verarbeitungsgeschwindigkeit	langsam, mittelschnell, schnell	langsam, mittelschnell, schnell (kürzeste Reaktion durch Interrupt)	
Verarbeitungstiefe V	klein, mittel (Eignung für Vorverarbeitung)	mittel, hoch	×
Steuerungsaufgabe	binär, digital (Arithmetik beschränkt auf Zählfunktionen)	binär, digital (mit Arithmetikanteil und Analogsignalverwertung)	
Prozeß-, starkstromnaher Einsatz	geeignet	bedingt geeignet	×
Direktansteuerung von Stellgliedern höherer Leistung	realisierbar	nicht allgemein realisierbar	×

Tafel 6.3.2 (Fortsetzung)

Auswahlkriterien	Entscheidung für		Kombinierter Einsatz zweckmäßig
	VPS	SPS	
Technische Eigenschaften			
Erhöhte Sicherheits-, Schutz- und Verfügbarkeitsforderungen (backup, Meldung)	geeignet (besonders dezentral)	(bedingt geeignet)	×
Dezentrale Informationsverarbeitung	gut geeignet (einkanalig)	gegenwärtig bedingt geeignet (überwiegend mehrkanalig)	×
Kopplungsfähigkeit	hoher Aufwand für Kooplung mit der Automatisierungsanlage	minimaler Kopplungsaufwand	
Eigendiagnosemöglichkeiten	dezentrale Fehlererkennung und -meldung	umfassend möglich, differenziert an die Forderungen anpaßbar, weitgehend aber zentral	
Autarkiepotential	Vor-Ort- und Reparaturbetrieb für Einzelantriebe	Vor-Ort- und Reparaturbetrieb in komplexen technologischen Abschnitten	×
Technologische Eigenschaften			
Flexibilitätserfordernis	kaum erfüllbar	ausgezeichnet erfüllbar	
Projektierungsaufwand	hoch	niedrig	
Aufwand an technischen Hilfsmitteln für Projektierung, Prüfung, Inbetriebsetzung	umfangreich	geringer	

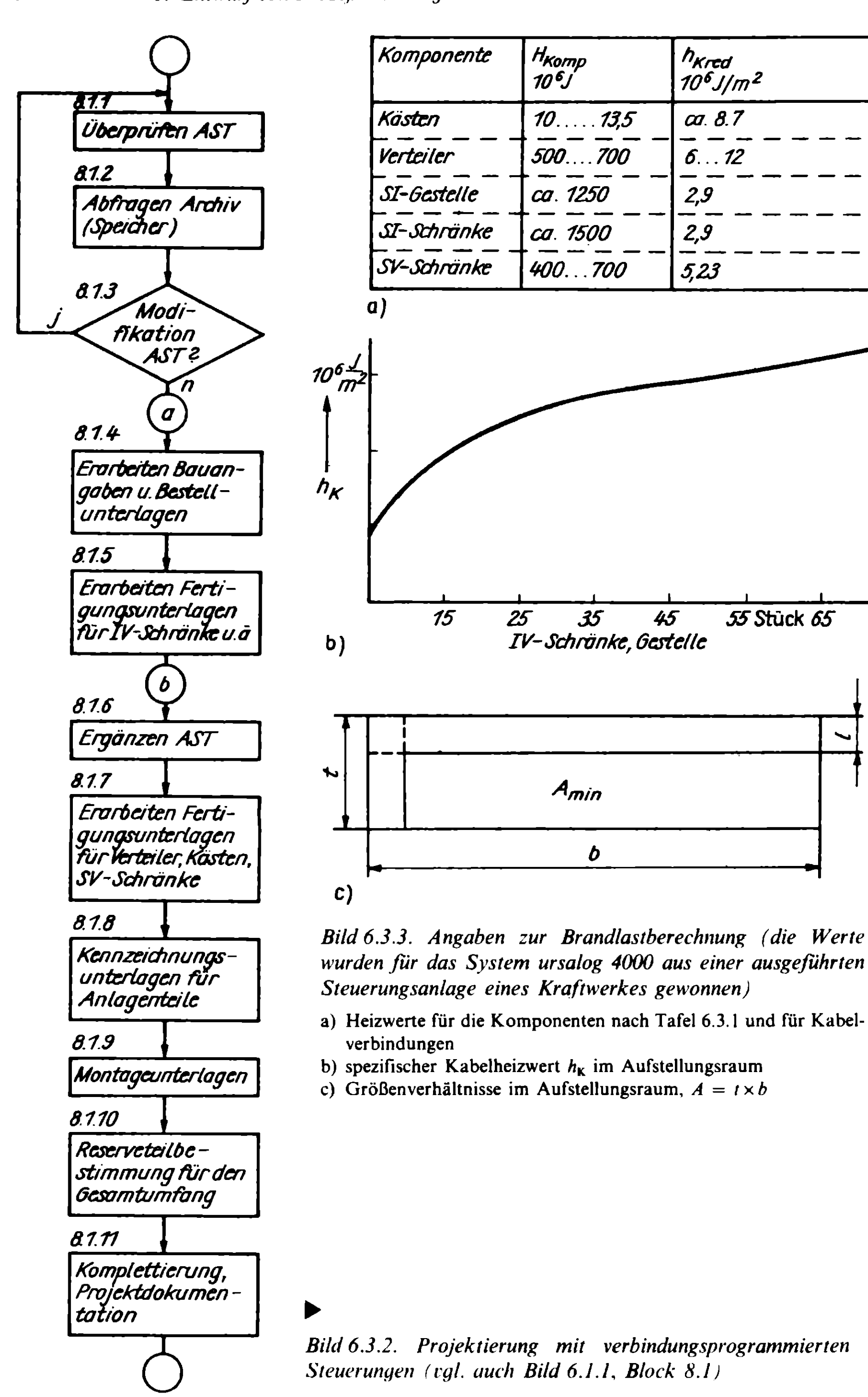
6.3.1.2. Verbindungsprogrammierte Steuerungen (VPS)

Der prinzipielle Ablauf nach Bild 6.3.2 als Untersetzung von Block *8.1* im Bild 6.1.1 orientiert sich an einer kataloggestützten Projektierungstechnologie. Seine Ausgestaltung kann natürlich nur unter Beachtung spezieller betriebsorganisatorischer Vorschriften vorgenommen werden. Folgende Grundzüge sind aber unverkennbar:

- Nutzen von Wiederholprojekten
- frühzeitiges Auslösen von Fremdleistungen (Materialbestellung, Bauangaben)
- Projektierung der Schränke für die Informationsverarbeitung (IV-Schränke) vor der Anlagengestaltung
- schrittweises Vervollständigen der konsequent funtionsgruppenbezogenen Dokumentation (Block *9.1* im Bild 6.1.1).

Ein permanenter Vergleich mit der Aufgabenstellung, ggf. auch ihre Präzisierung, erfolgt dabei auch dann, wenn es nicht ausdrücklich erwähnt wird.

Erforderliche Informationen und methodische Hilfsmittel stehen als



Komponente	H_{Komp} $10^6 J$	h_{Kred} $10^6 J/m^2$
Kästen	10.....13,5	ca. 8.7
Verteiler	500....700	6...12
SI-Gestelle	ca. 1250	2,9
SI-Schränke	ca. 1500	2,9
SV-Schränke	400...700	5,23

Bild 6.3.3. Angaben zur Brandlastberechnung (die Werte wurden für das System ursalog 4000 aus einer ausgeführten Steuerungsanlage eines Kraftwerkes gewonnen)

a) Heizwerte für die Komponenten nach Tafel 6.3.1 und für Kabelverbindungen
b) spezifischer Kabelheizwert h_K im Aufstellungsraum
c) Größenverhältnisse im Aufstellungsraum, $A = t \times b$

▶

Bild 6.3.2. Projektierung mit verbindungsprogrammierten Steuerungen (vgl. auch Bild 6.1.1, Block 8.1)

- Bauteilkataloge
- Dokumentationsrichtlinien (Formvorschriften, Arbeitsblätter u. ä.)
- Projektierungsverfahren
- Projektierungsvorschriften mit einer durchgängigen Anlagenbezeichnungssystematik
- Vorschriften für Rechnerstützung

zur Verfügung [6.35]. Ein besonderer Akzent liegt auf der Wiederverwendung bereits ausgeführter Projekte (Wiederholprojekte), zu denen ein übersichtlich organisiertes Archiv (bzw. Speicher) eine kurze Zugriffszeit garantieren muß. Gegebenenfalls ist in diesem Zusammenhang auch eine Modifikation der Aufgabenstellung nicht auszuschließen.

Der folgende Text erläutert die Aktivitäten des Ablaufs nach Bild 6.3.2.

- Überprüfen AST
  - Ergänzen und Überprüfen der AST (Systemspezifikation), ggf. erneute Abstimmung mit dem Auftraggeber
  - Komplettieren, insbesondere um Elektroaggregateliste bzw. Antriebsverzeichnis (Liste der Antriebe mit Angaben zu Art, Aufstellungsort, Abschaltform, Zuordnung zur Schaltanlage u. ä. sowie der Meßstellen), Aufstellungs-/Lageplan, vollständige Signalbezeichnung, Übergabeliste (Signalübergabe zu anderen Anlagenteilen, wie Regeleinrichtungen, Warte usw.)
  - Herstellen bzw. Überprüfen der Kompatibilität zwischen technologischem Schema, Übergabe- sowie Elektroaggregateliste
- Abfragen Archiv (Speicher)
  - Überprüfen, ob mindestens eine ähnliche Aufgabe bereits einmal gelöst wurde (Nutzen eines bereits ausgeführten Projekts)
- Erarbeiten von Bauangaben und Bestellunterlagen (Bedarfsmeldung)
  - Auswahl der Gefäßvarianten (z. B. nach Schutzgrad, Abmessungen u. ä.) und Zuweisen des Funktionsinhalts auf Basis von Richtwerten (z. B. Anzahl der Ein-/Ausgänge, Stromkreise u. ä.)
  - Aufstellungsplan (Bauzeichnung für die Ortsangabe aller Anlagenteile im Aufstellungsraum)
  - Brandlastberechnung (vgl. Bild 6.3.3)

$$H_{\text{ges}} = \sum H_{\text{Komp}} + H_{\text{Kabel}} \tag{6.1}$$

$$H_{\text{Kabel}} = h_{\text{K}} A_{\min} \left(\sum h_{\text{Kred}}\right) z l \tag{6.2}$$

$$Q = \frac{H}{A}; \tag{6.3}$$

A Gesamtfläche des Aufstellungsraums
$A_{\min}$ minimal erforderliche Aufstellungsfläche (unter Beachtung der Sicherheitsabstände)
H_{Komp} Heizwert einer Komponente
H_{Kabel} Heizwert aller Kabel
h_{K} spezifischer Heizwert im Aufstellungsraum
h_{Kred} mittlere Heizwerte für die Verbindungskabel
l Abstand zwischen der Kabeleinführung des Aufstellungsraums und der längeren Kante von $A_{\min}$
z Anzahl der Komponenten

  - Bestellunterlagen (Anzahl von Baugruppen, Funktionseinheiten, Gefäßkomponenten, Montagematerial einschl. Reserve)
- Erarbeiten von Fertigungsunterlagen für IV-Schränke
  - Stromlaufpläne für die einzelnen Teile der Funktionsgruppensteuerung bei Realisierung der Prinzipien zum Aufbau von Steuerungen bezüglich der Stromkreisbildung und -überwachung, der Entmaschung innerhalb von Anlagen, der Anschaltprinzipien bei Sicher-

heitsschaltungen, der Signal- und Meldeordnung sowie von Maßnahmen zur Erhöhung der Verfügbarkeit, Beachtung der Zusammenschaltbedingung

$$F_a \geqq \Sigma F_e; \quad (6.4)$$

F_a Ausgangslastfaktor
F_e Eingangslastfaktor der Eingänge von Baugruppen und Funktionseinheiten

- Festlegen der Prüf- und Simulationspunkte
- Kennzeichnung von Baugruppen und Funktionseinheiten (auch für die Einbaureihenfolge)
- Belegungspläne für Gefäße (Baugruppeneinsätze, Schränke, Gestelle), systematisiertes Belegen unter Beachten von Plätzen für Reserve, Service u. ä.
- Festlegung der Stromversorgungsart (zentral, dezentral) und von Versorgungsbereichen
- Stromkreisbildung und -überwachung
- Ausrüstungslisten und Unterlagen für automatische oder Handverdrahtung
- ggf. Korrektur der Bestellunterlagen für Baugruppen und Funktionseinheiten

— Ergänzen AST als Prüf- und Inbetriebsetzungsunterlage
- Eintragen der Prüf- und Simulationspunkte
- kompatible Numerierung von AST und zugehörigem Stromlaufplan

— Erarbeiten von Fertigungsunterlagen für Verteiler, Kästen, Stromversorgungsschränke (SV-Schränke)
- Belegungs-, Verdrahtungslisten (bei Anwendung der Bezeichnungssystematik)
- Ermitteln des/der Strombedarfs/Versorgungsebenen und Auswählen der Netzgeräte oder SV-Schränke, Komplettieren der Stromlaufpläne bei dezentraler Versorgung

— Kennzeichnungsunterlagen für Anlagenteile
- Schilderlisten für projektabhängige Kennzeichnung von Signalen, Sicherungen (Papierschilder)
- feste Bezeichnungsschilder

— Montageunterlagen
- Montageausrüstungsliste (Übersicht über Komponentennummern)
- mit den Stromlaufplänen korrespondierende systematisierte Anschlußlisten zwischen den Komponenten
- Verkabelungsunterlage (Kabelnummer, -liste, -zugliste u. ä.)
- Überprüfen und Ergänzen der Bauangaben
- projektspezifische Montagehinweise

— Reserveteilbestimmung für den Gesamtumfang nach Erfahrungswerten (etwa 10% der jeweiligen Stückzahl, mindestens jedoch 1 Stück/Typ)

— Komplettieren der Projektdokumentation
- endgültiger Aufstellungsplan
- technische Erläuterungen (ergänzende Beschreibungen und Dokumentationsübersicht, für den Anwender wichtige Berechnungsergebnisse).

6.3.1.3. Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS)

Grundsätzlich unterscheidet sich der Projektierungsvorgang für Einrichtungen mit SP-Technik (vgl. Bild 6.1.1, Block *8.2*) nicht von dem im Bild 6.3.2 gezeigten Ablauf, sofern er sich ebenfalls auf Katalogunterlagen stützt. Besonderheiten, z. T. Vereinfachungen, ergeben sich allerdings für IV-Schränke

— durch den gegenüber der VP-Technik wesentlich erhöhten projektunabhängigen Anteil (Netzeinspeisung, Überwachungsfunktionseinheiten, Bedienung und Anzeige, typisierte Schrankanschlußleiste)
— durch die i. allg. erforderliche Kombination mit VP-Geräten
— durch die anders gelagerte Stromversorgungsproblematik sowie
— infolge der Entscheidungsmöglichkeit zwischen SPS unterschiedlicher Leistungsfähigkeit,

so daß der diesen Anteil berücksichtigende Teilablauf — eingefügt zwischen die Konnektoren *a*, *b* des Bildes 6.3.2 — getrennt dargestellt (Bild 6.3.4) und bezüglich seiner Besonderheiten gegenüber der VPS-Projektierung nachfolgend erläutert wird. Die Arbeitsschritte *8.2.6*, *8.2.7* verschmelzen in praxi weitgehend miteinander; die vorgenommene Trennung verbessert lediglich die Übersichtlichkeit. Insgesamt sollte aber das Projektierungsergebnis bei Applikation der SP-Technik etwa dem Grundsatz „durch die Software so viele Funktionen wie möglich, durch die Hardware nur so viele Funktionen wie notwendig" genügen.

Am Beginn steht die Gerätesystemauswahl, da der Projektant meist über mehrere „aufwärtskompatible" Gerätefamilien verfügen kann, die bezüglich ihrer differenzierten Leistungsmerkmale für unterschiedliche Anwendungsgebiete zugeschnitten sind [6.55], vgl. auch Abschnitt 4.

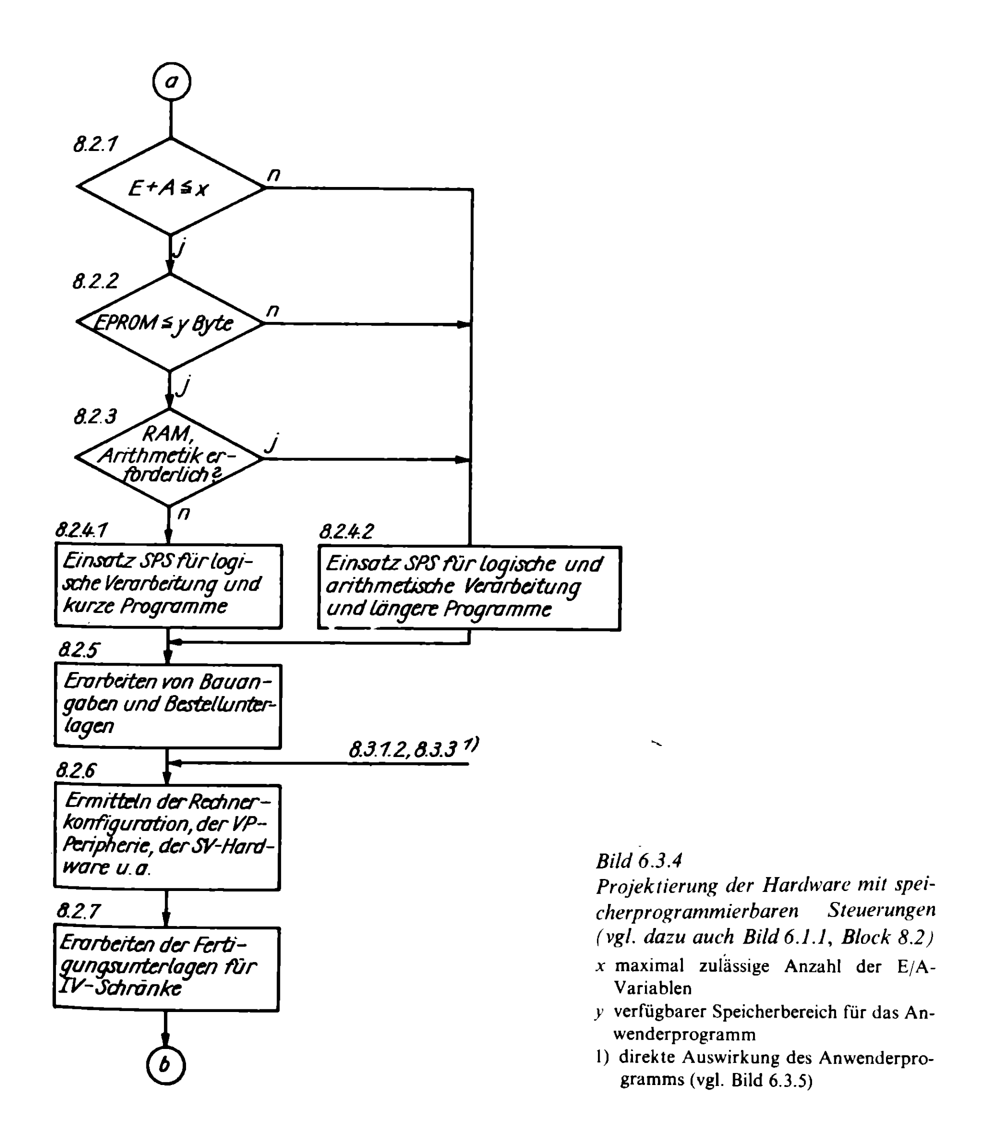


Bild 6.3.4
Projektierung der Hardware mit speicherprogrammierbaren Steuerungen (vgl. dazu auch Bild 6.1.1, Block 8.2)

x maximal zulässige Anzahl der E/A-Variablen
y verfügbarer Speicherbereich für das Anwenderprogramm
1) direkte Auswirkung des Anwenderprogramms (vgl. Bild 6.3.5)

— Gerätesystemauswahl, Blöcke *8.2.1* bis *8.2.4.2*
  - Die Überprüfung der Bedingungen — E/A-Kanäle, RAM-Bereich — erfolgt auf Basis der technischen Kennwerte unterschiedlicher Gerätesysteme.
  - Der erforderliche Festwertspeicherbereich M kann nur aufgrund von Erfahrungswerten abgeschätzt werden. Es gilt näherungsweise

$$M/\text{byte} = (E + A + T)\,K \quad \text{bzw.} \quad K' \qquad (6.5)$$

E Anzahl der Eingänge, bit; A Anzahl der Ausgänge, bit
T Anzahl der Takte bei Ablaufsteuerungen
K Kennzeichen für die Verarbeitungstiefe bei rein logischen Strukturen
$K' = K + z$ Kennzeichen der Verarbeitungstiefe bei logisch-arithmetischen Strukturen
z den Arithmetikanteil berücksichtigender Zuschlag.

  - Neben diesen Kriterien sind ggf. weitere zu beachten, wie
    Möglichkeiten der Programmorganisation (Bildung von Komplexmodulen)
    der Funktionsvorrat
    die Anzahl von Zeitgliedern und Zählern
    das dynamische Verhalten (Reaktionszeit, Zykluszeit)
    die Busschnittstellen (zum Einfügen in „dezentrale" Anlagen)
    ein effektives Betreiben unterschiedlicher SPS in einer Anlage (einheitliche Programmnotation, universelle Programmier- und Inbetriebsetzungstechnik, angepaßte Schnittstellen u. ä.).

— Erarbeiten von Bauangaben und Bestellunterlagen (Block *8.2.5*)
  - Arbeitsumfang entsprechend Abschnitt 6.3.1.2. (vgl. Bild 6.3.2, Block *8.1.4*)
  - Abschätzen der Konfigurationen in Abhängigkeit von Art und Anzahl der E/A-Kanäle/Funktionsgruppe, Aufstellungsbedingungen, Reserve E/A-Kanäle; Speichervolumen (Betriebssystem und Anwenderprogramm) u. a.
  - Bestellangaben für die Gefäßtypen (mit projektunabhängiger Grundausrüstung) und Baugruppen einschließlich Reserve

— Ermitteln der Spezifikation/Rechnerkonfiguration, . . . (Block *8.2.6*)
  - Auswahl der Rechner-, Speicher- und Bedien-/Servicebaugruppen (auf Basis der Gleichung (6.5)), von Anschlußsteuerungen (je nach eingesetzter Datenperipherie und Servicegerätetechnik)
  - Festlegen der Prozeßperipheriekarten (E/A) nach Typ und Anzahl (Pegel, Signalart, dynamische Signaleigenschaften, Signalanpassung, z. B. Kontaktentprellen, Potentialverhältnisse, Interruptfähigkeit)
  - Festlegen der Anzahl der Baugruppeneinsätze und ihrer in Grenzen typisierten Belegung
  - Auswahl von typisierten Verbindungsleitungen von den Peripheriemodulen zu dem (ggf. vorhandenen) Prozeßanschlußfeld (PAF) unter Einschluß vereinheitlichter Platzzuordnung zwischen Anschlußfeld und Einsatz, der Leitungsführung sowie der projektabhängigen Gestaltung des PAF
  - Projektieren einer Peripherie aus VP-Baugruppen (Sicherungsbaugruppen für Stromkreisbildung, Kontaktbelastung für nicht elektronikkompatible Geber, Baugruppen für besondere Statusanzeige, Simulation von ausgewählten Binärvariablen, geringe Vorverarbeitung, Anpassungsbaugruppen für die VPS der Antriebssteuerebene, Realisierung von weiteren Melde-, Schutz- und Überwachungsfunktionen u. ä.)
  - Projektieren von Serviceeinrichtungen (Realisieren von Bedienfunktionen, die im Regelfall auf Steuerpulten installiert sind)
  - Gestalten der Stromversorgung für Rechner- und Prozeßseite (Festlegen der Versorgungsbereiche, z. B. Aufteilen nach Komplexen mit Festwert- und Arbeitsspeichern zum Zweck des Einhaltens von vorgegebenen Einschaltreihenfolgen der Versorgungsspannung bzw. für die Batteriestützung bei Netzspannungsausfall; Einspeisung für die Analogbaugruppen, Auswahl der Module nach Spannungsart und Leistung; Realisierung von Überwachungsschaltungen; Maßnahmen gegen Spannungseinbrüche und -ausfälle, Zu-/Abschaltbedingungen für die Versorgungsbereiche im Normalbetrieb und im Störungsfall).

— Erarbeiten der Fertigungsunterlagen für IV-Schränke (Block *8.2.7*)
 - Belegungspläne für Rechner-, VP-Baugruppen- und SV-Moduleinsätze
 - Verdrahtungslisten zum Anschluß der Rechnereinsätze an die SV-Module, der SV-Module an das Netzeingangsteil, zum Verbinden der Prozeßperipherie mit dem Prozeßanschlußfeld
 - Liste zur Gesamtschrankverdrahtung
 - Stromlaufplan für den VP-Anteil
 - Ausrüstungslisten für die Einsätze (präzisierte Bestellunterlage einschl. der Reserve), für Serviceeinrichtungen und Gesamtschrank
 - Gesamtunterlagen.

In der Gegenüberstellung zur Projektierung mit verbindungsprogrammierten Systemen wird eine Reihe von Vorzügen deutlich. Die drastische Reduzierung bei den Fertigungsunterlagen nach Umfang und Aufwand (Stromlaufpläne werden weitgehend durch Listen ersetzt) sowie eine exaktere Materialbestellmöglichkeit ohne Realisierung der eigentlichen Steuerungsfunktion (Software, beim Festlegen des Speichervolumens auftretende Unsicherheiten sind gering) verkürzen deutlich die Projektbearbeitungszeit und senken damit den Aufwand. Außerdem erhöht sich die Disponibilität während des gesamten Verlaufs der technologischen Vorbereitung.

6.3.2. Projektierung der Software

6.3.2.1. Übersicht

Die „Software" — also die Summe aller Programme in einer SPS — stellt das Bindeglied zwischen Gerät (Hardware) und Funktion dar. Mit ihr wird der beabsichtigte Funktionsalgorithmus, der

Tafel 6.3.3. Software-Klassifikation

Einteilung				Software-Art
aufgabenorientiert	produktionsorientiert			
Programmsystem, PS (Programme zur Ausführung einer Aufgabe)	Anwenderprogramme (Steuerinformationen für den Systemanlauf, Aufruf der Module des BS, Codeprozeduren)			projektspezifische Anwender-Software, AS
	anwendungsspezifische Module für Steuerung, Regelung, Prozeßverkehr, DÜ u. a. (Fachsprache); Test-Software, Komplexmodule		spezielles Betriebssystem (AKBS)	System-Software, SS
Programmiersystem PRS (Programmerstellung)	Echtzeitsteuerprogrammsystem (Module für E/A-, Interrupt-, Zeit-, UP-Organisation, Datenübertragung, Systemanlauf u. a.) Programmteilverwaltung (Vorrangorganisation, Fehlerorganisation)	allgemeines Betriebssystem		
	Software-Pakete („Software-Werkzeuge") — Projektprogrammierung (Compiler für problemnahe Notation PN 5000, Assembler K 1520, Vorübersetzer für Komplexmodule, Generierungs-Software für Betriebssysteme Prozeßmodellierung — Prozeßinbetriebsetzung — Projekttestung — Projektdokumentation u. a.			TEVO-Software, TS

BS Betriebssystem

in Form der Aufgabenstellung notiert ist, realisiert. Vom Standpunkt des Anwenders (bzw. Betreibers) und auch aus Sicht des Projektanten muß also die Software überwiegend problemorientiert sein. Aus dem Blickwinkel der Fertigung, die vorzugsweise für die Implementierung in eine konkrete Konfiguration zu sorgen hat, besitzt sie mehr einen maschinenorientierten Charakter.

Jedes Programm besteht aus einer Folge von Befehlen oder Steueranweisungen, wobei Komplexität und Ausdrucksform (Syntax, Semantik) von der verwendeten Programmiersprache bestimmt werden. Infolge der Aufgabenvielfalt der Software ist eine Unterteilung zweckmäßig. Eine mögliche Klassifikation in die Arten

- Anwender-Software
- System-Software
- TEVO-Software

zeigt Tafel 6.3.3. Anwender-Software umfaßt die Gesamtheit aller projektspezifischen Programme und ersetzt somit die Schaltungstopographie (Stromlaufplan) der VP-Technik. Ihr Erarbeiten obliegt vornehmlich dem Projektanten. Die System-Software schließt die anwendungsspezifischen Sprachmodule zum Notieren einer Aufgabe, die erforderliche Test-Software sowie die Komponenten zur internen Arbeitsorganisation einer SPS, das prozeßfolgende Echtzeitbetriebssystem, ein. Da unterschiedliche Aufgabenklassen (binäre, digitale Steuerungen; relevanter Arithmetikanteil; Zeitanforderungen; variabler Prozeßverkehr u. a.) differenzierte Betriebssysteme (Steuerprogrammsysteme) erfordern und ihre universelle Realisation zu aufwendig, wenn nicht gar unmöglich ist, empfiehlt sich auch hier die aus der Gerätetechnik als bewährt bekannte modulare Konstruktion, so daß mit geeigneten Mitteln aus diesen Modulen aufgabenklassenbezogen das geeignete Betriebssystem generiert werden kann. Zur TEVO-Software schließlich zählen Programmpakete zur Programmierung, zur Projekttestung und -dokumentation. Ihre Anwendung beschränkt sich demzufolge nicht nur auf den Bereich der SP-Technik, sondern sie kann ebenfalls bei der Projektierung von VPS eingesetzt werden. Beide zuletzt genannten Software-Arten werden dem Projektanten in geeigneter Weise zur Nutzung bereitgestellt, die Erarbeitung übernimmt die Entwicklung. Neben dieser produktionsorientierten Einteilung ist — wie in Tafel 6.3.3 illustriert — auch eine aufgabenorientierte möglich. Sie verdeutlicht insbesondere die Doppelfunktion des Steuerprogrammsystems, das sowohl dem Programm- als auch dem Programmiersystem zuzuordnen ist.

Die Situation im Bereich der industriellen Anwendung der Software ist durch folgendes gekennzeichnet:

- zunehmendes Produktionsvolumen (überproportional zur Gerätetechnik nicht nur infolge fallender Hardware-Preise) und damit steigende Software-Kosten
- zur konventionellen Technik vergleichsweise schwierigere Handhabbarkeit sowohl in der Phase der Projektierung als auch während Inbetriebsetzung und Wartung
- Unsicherheiten bei Termin- und Kostenplanung (Auswertungen ausgeführter Projekte offenbarten drastische Fehleinschätzung, z. B. [6.10]).

Einem solchen kritischen Sachverhalt — gelegentlich auch als „Software crisis" bezeichnet — kann nur durch ein konsequentes Durchsetzen ingenieurmäßiger Methoden bei der Programmerstellung begegnet werden, d. h., es muß der Wechsel vom „Programmhandwerk zur Programmproduktion" erfolgen [6.8] [6.10] [6.66] [6.115] [6.116]. Eine solche durchgreifende Arbeitsproduktivitätssteigerung zwingt zur systematisierten Programmerstellung und zum Einsatz definierter Produktionsmittel in allen Phasen dieses neuen Produktionszweiges. Dazu zählen

- die Systemanalyse, die mit der Erarbeitung der Aufgabenstellung abgeschlossen ist (K)
- die Programmstrukturierung bzw. -ablaufplanung (K)
- das Programmerstellen (R)
- die Programmrealisierung, also das Testen (R)
- das Dokumentieren und Archivieren (R).

Orientiert am Vorbild der bereits weitgehend optimierten „Güterproduktion", bedeutet das ebenfalls eine umfassende Rationalisierung der Abschnitte, die sich durch Routinetätigkeit (R)

auszeichnen. Damit verbindet sich nun auch im Software-Bereich die Abkehr von „maßgeschneiderten" individuellen Lösungen und die deutliche Erhöhung des Anteils „konfektionierter" Programmanteile mit hohem Wiederholgrad. Bedingung dazu ist die Bereitstellung typisierter, universell nutzbarer und damit vorfertigbarer Programmbausteine, deren Dokumentationsniveau dem der Gerätetechnik zu entsprechen hat. Diese Module nimmt ein umfassender Speicher, das „Software-Lager" auf, dessen Organisation und Zugriffszeit ausschlaggebend für die notwendige rationelle Software-Produktion sind. Eine solche Entwicklung bedingt natürlich die Ausweitung des kreativen Arbeitsanteils (K) in den Phasen Systemanalyse (Funktionssynthese) und Programmstrukturierung, aber auch teilweise im Bereich Dokumentieren, da alle Software-Produktionsergebnisse der Wiederverwendbarkeit zugänglich zu machen sind.

Erforderliche Produktionsmittel werden vorzugsweise interaktiver, dialogorientierter und datenmaschineller Natur sein, außerdem sind methodische Verfahren und formale Vorschriften stärker als bisher einzubeziehen. Als wesentliche, wenn nicht vielleicht entscheidende Komponente zeigt sich dabei die zur Notation der Programme bereitstehende Sprache.

Im Ergebnis der „Software-Produktion" bzw. „Software-Projektierung" soll ein „gutes" Programm vorliegen, also eine Lösung, die sich durch nachstehende Eigenschaften auszeichnet:

- Anwenderfreundlichkeit, d. h., das Software-Produkt muß im gewünschten Sinn auf Prozeßanforderungen reagieren, einfache Bedienungsmaßnahmen zulassen und eine für die verschiedenen Anwendergruppen (Tafel 6.3.4) geeignete Dokumentation besitzen,
- Fehlerfreiheit, d. h., das Programm erfüllt seine Funktion nicht nur im Normalfall, sondern auch bei außergewöhnlichen Prozeßdatenkombinationen und Bedienungshandlungen,
- Wartbarkeit, d. h., die Anwender-Software muß auch von anderen Personen als dem Autor in endlicher Zeit verstanden werden, um bei Erhaltung seiner Fehlerfreiheit geändert, also an neue Prozeßbedingungen angepaßt werden zu können (Bedingung für die Flexibilität von SPS), durch ihren modularen Aufbau werden bei Optimierung und Korrektur andere Programmteile nicht in Mitleidenschaft gezogen.

Tafel 6.3.4. Benutzer von Anwenderprogrammen

Anwender	Kenntnisse		Primärinteressen	Bemerkungen
	zum Problem	zur SPS		
Auftraggeber (Betreiber)	ja	nein (bzw. gering)	kostenoptimale Erfüllung der Prozeßaufgabe	
Wartungstechniker (beim Betreiber)	ja	ja	Verständlichkeit, Fehlersuch- und Änderungsfreundlichkeit	beseitigt Störungen und paßt ggf. die SPS an veränderte technologische Bedingungen an
Projektant	ja (ggf. mit Einschränkung)	ja	Erfüllung der Aufgabenstellung, Zuverlässigkeit, übersichtliche Gestaltung	Bearbeiter kann während der Projektlaufzeit wechseln; mit Änderungen und Aktualisierungen ist während dieser Periode zu rechnen
Inbetriebsetzungstechniker	ja	ja	einfache Inbetriebsetzung und Fehlersuche	in keinem Fall der Programmautor
Prüffeldtechniker	nein	ja (mit Einschränkungen)	effektive Komplextestmöglichkeit (Hard- und Software)	

6.3.2.2. Programmiersprachen und Software-Hilfsmittel

Zur Programmierung des SPS stehen prinzipiell drei im Niveau unterschiedliche Sprachtypen zur Verfügung:

- die Assemblersprache (z. B. MAPS K 1520) [6.61]
- die Fachsprache (z. B. PN 5000 [6.62], STEP 5) [6.63]
- die Hochsprache (z. B. PL/M, PEARL, PASCAL, BASIC) [6.24] [6.121].

Durchgesetzt haben sich bislang Fachsprachen [6.10] [6.56] bis [6.60] [6.64] [6.65] [6.83] [6.99]. Anwendungsschwierigkeiten infolge ausgeprägter zeitkritischer Teilaufgaben lassen sich durch das i. allg. erlaubte Einfügen von in Assemblersprache geschriebenen diesbezüglichen Programmabschnitten, sog. Codeprozeduren, beheben.

Tafel 6.3.5. Syntax (Morphologie) der Fachsprache PN 5000

a) Programmaufbau

Programmabschnitt	Aufgabe
Vereinbarungsteil	Definition von Programmtyp (z. B. zeitzyklisch oder interruptgesteuert), der Art der Prozeßeingabe und -ausgabe, der DÜ, von Konstanten
Steueranweisungsteil (Programmier- und Bedienungsbefehle)	Abarbeiten des Verarbeitungsalgorithmus durch die SPS (bzw. den Prozessor)

b) Struktur einer Steueranweisung

Feldbezeichnung	Markenfeld	Operationsfeld	Operandenfeld	;Kommentar
Inhalt	Marken	Vereinbarungen, Funktionsmodule, Betriebssystemrufe	E/A-Variablen, Konstanten (z. B. Taktzeiten), Marken, Unterprogrammnamen	Erklärungen zur verbesserten Programmlesbarkeit
Beispiele	10	ODRB	E1, E3, A4	; A4 = Ventil 4 ein

DÜ Datenübertragung

Neben der bereits im Abschnitt 4.3.6.4. vorgestellten Sprache PROLOG 2 werden hier Semantik und Syntax eines weiteren Vertreters einer derartigen fachspezifischen Notationsweise am Beispiel der Fachsprache PN 5000 [6.62] näher erläutert. Den prinzipiellen Aufbau eines PN-5000-Programms, also eines objektspezifischen Anwenderprogramms, zeigt Tafel 6.3.5a, die Struktur einer Steueranweisung der zugehörige Teil b. Vor dem Semikolon dieser Zeile stehen zum Ausführen der Vorschrift benötigte Informationen; der sich anschließende Kommentar verbessert die Lesbarkeit. Eine solche zeilenweise Erklärung — ebenfalls mit einem Semikolon beginnend — kann auch dem Programm vorangestellt werden, um etwa den Programmnamen anzugeben oder die E/A-Variablen zu erläutern. Die Abstände zwischen den Teilen einer Anweisung sind frei wählbar. Die verwendeten mnemotechnischen Zeichen stellen Abkürzungen deutscher, z. T. auch englischer Fachwörter dar. Eine Übersicht mit Beispielen enthält Tafel 6.3.6. Die in Tafel 6.3.6b näher erklärten Kurzbezeichnungen der Variablen (Variablenbezeichner) sind in ihrer Form diesen Größen sinnverwandt. Konstanten können in allen üblichen Zahlendarstellungen notiert werden. Der folgende Abschnitt 6.3.2.3. ergänzt diese Erläuterungen um ein Programmbeispiel.

Tafel 6.3.6. Semantik der Fachsprache PN 5000

a) Mnemoniks

Vokabular	Aufgabe/Bedeutung	Beispiel	
		Mnemomik	Funktion
Vereinbarungen	Programmorganisation	APRO	Vereinbarung eines prioritätsgesteuerten Programms
Marken			
Module	spezielle Funktionen, wie Transportmodule Bitlogikmodule Zeitmodule Konvertierungsmodule Zählmodule Arithmetikmodule Vergleichsmodule Prozeßeingabe-/-ausgabemodule Datenübetragungsmodule Sprungmodule Programmorganisationsmodule	UMBI UNDB TAN 1 DUD 1 ZVO 2 ADD 1 VGL 1 PRIN TEIN SPRG PEND	Wertezuweisung an Binärvariable (BV) Konjunktion von BV Anzugsverzögerung Digitalwert → 3 BCD-Zeichen Vorwärtszähler Addition von Digitaloperanden Vergleich auf Gleichheit von Digitaloperanden Prozeßeingabe Empfangen Sprung zu einer Zielmarke logisches Ende eines prioritätsgesteuerten Programms
Steuerprogrammsystemrufe (EIEX 1521) Handlungsbefehle	Spezifikation der von Betriebssystemkomponenten auszuführenden Funktionen	STRT	Start eines Programms

b) Konstanten- und Variablenkennzeichnung

Typ	Aufgabe/Bedeutung	Beispiele	
		Mnemonik	Funktion
Variable	Addressierung von Binär- und Digitalvariablen im Programmsystem (Größen mit globaler Bedeutung) – Binärvariable – Digitalvariable – lange Digitalvariable	 Ei ABj EDj	 über Prozeßperipherie erfaßte binäre Meßwerte (z. B. E 28) über Prozeßperipherie auszugebender Binärsignalblock (Stellgröße z. B. AB 19) über Prozeßperipherie erfaßtes Analogsignal
Konstanten	ganzzählige Werte von Größen in dualer, oktaler, dezimaler oder sedezimaler Darstellung	2B, 72512 Q, 502, 2OH	

Tafel 6.3.7. Software-Hilfsmittel (Bestandteile des PRS)

Bezeichnung	Funktion	Läuffähig auf
Betriebssystem (AKBS)	Organisation der Bearbeitung der AS	SPS, Entwicklungssystem (z B. MRES 20)
Software für Projektprogrammierung (Generierungs-Software)		
Übersetzer (PN 5000)	QC → OC	SPS, Programmiergeräte (z. B. PG 5000) Entwicklungssystem, (Wirtsrechner)
Rückübersetzer	OC → QC	wie Übersetzer (außer SPS)
Vorübersetzer für Komplexmodule	KM → QC (Basismodulsequenz)	Wirtsrechner, Entwicklungssystem
Assembler (Reassembler)	QC → OC	Programmiergerät, Entwicklungssystem
Generierungs-Software für AKBS und Übersetzer	Generierung spezifischer Betriebssysteme (AKBS) und Übersetzer (differenziert nach erforderlichem Basismodulspektrum)	Entwicklungssystem, (Wirtsrechner)
Testmonitor	Erprobung von AS	Entwicklungssystem, (Wirtsrechner), Programmiergerät

AKBS aufgabenklassenbezogenes Betriebssystem; QC Quellcode (SPS-gerechte Notation der Aufgabe); OC Objektcode (von SPS direkt bearbeitbare Befehlsfolge, auch Maschinencode genannt); KM Komplexmodul

Wesentliche, das Programmiersystem PRS komplettierende „Software-Hilfsmittel" — also Arbeitsmittel zum Produzieren eines Programms — sind, ausgehend von der Übersicht in Tafel 6.3.3, in Tafel 6.3.7 aufgeführt und kurz erläutert. Hervorzuheben ist nochmals die Doppelfunktion des Betriebssystems.

6.3.2.3. Projektierungsmethodik

Die wesentlichen Arbeitsschritte des Unterprogramms Projektierung der Software im Bild 6.1.1, Block *8.3*, vermittelt unter Bezugnahme auf die Fachsprache PN 5000 Bild 6.3.5. Sowohl diese Vorgehensweise als auch die bereitstehenden Hilfsmittel, gerätetechnischen Einrichtungen und Informationen müssen mit ihren Eigenschaften und durch ihre Praktikabilität zu dem im Abschnitt 6.3.2.1. postulierten Übergang zur Software-Produktion beitragen. Ausgehend von der Überprüfung der Aufgabenstellung (AST) sowie ihrer Anpassung an das Vokabular der verwendeten Sprache, wird mit der Definition der symbolischen Variablen (Block *8.3.1.1*), dem damit gekoppelten Ausfüllen der verschiedensten Listen (Block *9.2.1*) die Korrespondenz zur Hardware hergestellt. Sofern nicht bereits durch die Aufgabenstellung vorgegeben, ist anschließend die Programmstruktur festzulegen, d. h., das Gesamtprogramm zum Erhöhen seiner Durchsichtigkeit (Verbesserung der Testbarkeit, Inbetriebsetzung usw.) in Einzelteile zu zerlegen. Um ihr Zusammenwirken zu verdeutlichen, entsteht ein Übersichtsprogrammablaufplan (Kästchenmethode, Tafel 6.2.5), in dem die Programmstücke zu Blöcken zusammengefaßt sind und entsprechend ihrer Bedeutung zwischen prioritäts-, interruptgesteuerten und Unterprogrammen differenziert wird. Wichtige charakteristische Daten (Laufzeit, Programmname) lassen sich

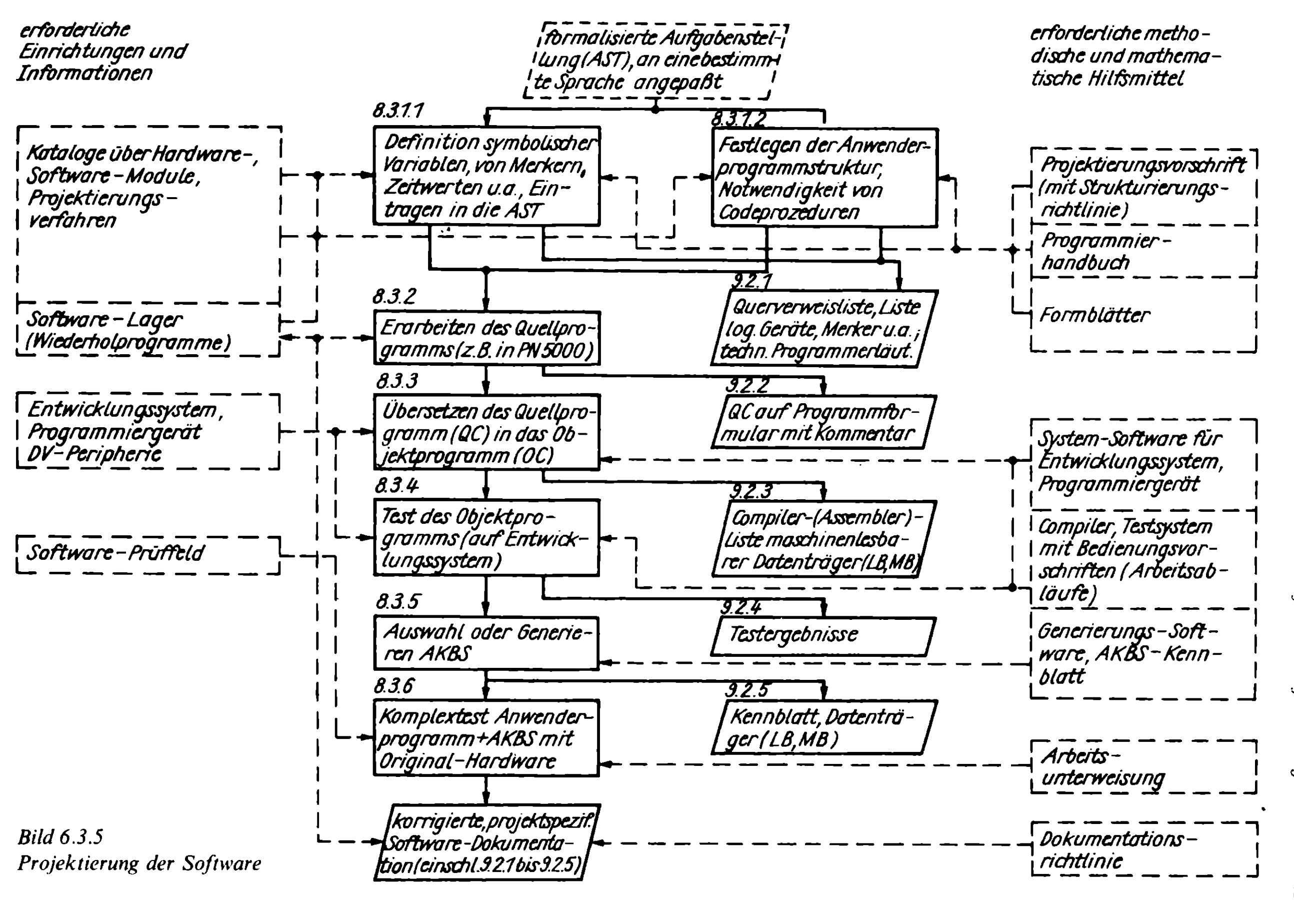


Bild 6.3.5
Projektierung der Software

Tafel 6.3.8. Anwenderprogrammdokumentation

a) Programmausschnitt ZOEB

```
VEREINBARUNGSTEIL
APRO 18, 10, S                          ;PRIORITÄTSGESTEUERTES PROGRAMM NR. 19 PROGRAMMSTART ALLE
                                        10 SEC
.
DEF 1 MB 115 4 20H 21H 22H 23H          ;EB8 EB9 EB10 EB11
PEAV 3 MB 115 4 EB8 5                   ;LOG. GERAET 3, BETRIEBSART 4 (BAUGRUPPE DES), 5MS-ABFRAGE

.
DEF1 MB 121 4 40H 41H 50H 51H           ;AB4 AB5 AB6 AB7
PEAV 5 MB 121 15 AB4                    ;LOG. GERAET 5, BETRIEBSART 15 (BAUGRUPPE DA-R)

.
PROGRAMMTEIL
PREN MB 115 EB8 MB48                    ;AKTIVIERUNG DER EINGABEN AB EB8 LT. PORTADRESSENVERZEICHNIS
                                        MB115
.
;VARIABLE FUER TAKTSPEICHERMODUL
;FRST: RM LOES S FR A FB; VGL. BILD 6.2.10
;RM,S:=LOG. FUNKTION VON VERSCHIEDENEN SIGNALEN
FRST M15/M0 M14 M13 A32, M2             ;SRT 2 SETZEN LUFTZUFUEHREN
STRT 19; ANMELDUNG DES FOLGEPROGRAMMS
PRAS MB 121 AB4; AKTIVIERUNG DER AUSGABE AB AB4 LT. PORTADRESSENVERZEICHNIS MB121
PEND
APRO 19
```

Tafel 6.3.8 (Fortsetzung)

b) Querverweisliste (E/A-Liste)

Technolog. Signal oder Geber-Stellgl.-Beziehung	Binär-variable	Bit	Anschl.-feld-verteiler	Karten-steck-verbindg.	Polarität	Kommentar	Pegel, Code, Dimension	Programm
			X02,16	X4				
BP 01	E 64	0	A2Ø		–	Druckgeber Verbrennungsluft		ZOEB
			B2Ø		(+)			
	E 65	1						
	E 66	2						
	E 67	3						
	E 68	4						
	E 69	5						
	E 70	6						
	E 71	7						

Tafel 6.3.8 (Fortsetzung)

Digitalvariable: EB8	Logische Geräte-Nr.: 3	Prozeß E/A-Spannung: 48 V	Sicherung: D151Ø F2
RAM-Adresse: 88Ø1H	symb. Adresse Daten:	Brücken für Kartenadressen: 4;37;7F	Karten-adresse: CØH
Port/Kanal: 2	Takt-/Impulszeit: 20 ms	Brücken für Betriebsart:	
Betriebsart: 4, statisch, Block		Brücken für Anzeige- u. Simulationsadapter:	
		zur Karte gehört Port/Kanal 1 auf Blatt	Part-/Kanal-anzahl 2
		Kartentyp: DES 48	Typ-Nr.:
		Einbauplatz: D1618	
		Blattnummer der Karte:	Blattanzahl der Karte:

c) Merkerliste

Symbolischer Name, Bezeichnung	Absolute Adr.	Digital-variable oder Adreßmo-difikator	Binär-variable oder Byte-anzahl	Bit	Kommentar/Formelzeichen	Pegel o. Wert und Dimen-sion	Konstante im Speicher	Setzen durch	Löschen durch	Auswerten durch Programm
								Programm oder Prozeß-geber		
	88Ø1H	MB 115			Zwischenmerker für EB 8 (Druckgeber)			BP01	BP01	
	888 CH	MB 121			Zwischenmerker für AB4 (Verbrennungs-luftzufuhr) [luftzufuhr struck through]			ZOEB	ZOEB	
	xxxx H	MØ			Löschsignal			LOES!		
	xxxx H	M2			Fortschaltbedingung SRT2			ZOEB	ZOEB	
	xxxx H	M 13			Freigabebefehl			ANF!		
	xxxx H	M14			Setzbefehl S: = BP01, FB 1			ZOEB	ZOEB	
	xxxx H	M15			Rücksetzsignal RM:= RM 4,2,6			MS04	MS04	

Bemerkungen:

	Blatt-Nr.	Blattanzahl:

zusätzlich ausweisen. Gleichzeitig sind daraus auch wichtige Informationen für die Hardware-Konfiguration zu gewinnen (vgl. Bild 6.3.4, Block *8.2.6*). Die Anwenderprogrammstruktur bestimmt nämlich die Anordnung der Prozeßperipheriekarten bezüglich der zentralen Recheneinheit (Interruptkette).

Alle diese Programmteile (Task) verbindet dann das Betriebssystem zu einem oft zyklisch zu durchlaufenden Programmsystem. Mit Abschluß des Systemanlaufs wird das erste Teilprogramm vom Betriebssystem gestartet, dessen letzte Leistung dann der Neustart des folgenden Programmteils ist. So sorgt jede abgearbeitete Task für den Aufruf des nächsten Programms bis zum letzten, das wiederum den Zyklus durch Sprung zum ersten Teilprogramm schließt. Mit der Aktivität *8.3.1.2* ist außerdem zu entscheiden, ob das zur Verfügung stehende Software-Modulsortiment ausreicht (vgl. Tafel 6.3.5), andernfalls müssen in Assembler geschriebene Codeprozeduren einbezogen werden. Das bedingt dann natürlich eine Erweiterung um Hilfsmittel für das Assembler-Sprachniveau (vgl. Tafel 6.3.7).

An das Notieren des Quellprogramms (Block *8.3.2*), an Übersetzungs- (Block *8.3.3*) und Testlauf (Block *8.3.4*) schließt sich die Überprüfung an (Block *8.3.5*), ob eines der existenten speziellen aufgabenklassenbezogenen Betriebssysteme (AKBS) für das vorliegende Problem geeignet ist. Ein Negativattest führt zum Generieren (vgl. Abschn. 6.3.4.3.) einer neuen Variante, die als notwendige und hinreichende Bedingung zum Komplextest (Block *8.3.7*) bereitstehen muß. Übersetzungsprotokoll und Programmtest liefern zusätzlich aktuelle Werte für Speicherplatzbedarf und Programmlaufzeit (bzw. Reaktionszeit ≙ Spanne zwischen der Veränderung des Ausgangssignals infolge eines Zustandswechsels am Eingang der SPS), die ggf. eine Korrektur der Anzahl der Speicherkarten und sogar der Anwenderprogrammstruktur bewirken können.

Als gerätetechnische Arbeitsmittel verfügt der Projektant i. allg. über auf die gleiche Hardware-Basis (Rechnerkern) zurückgehende Entwicklungssysteme und/oder Programmiergeräte. Wirtsrechner (EDV-Anlagen) haben sich — obwohl grundsätzlich geeignet — bisher nicht durchgesetzt. Das (möglichst auch personell unabhängige) Software-Prüffeld muß mit einer originalen, variabel konfigurierbaren SP-Einheit sowie mit der Fähigkeit einer begrenzten Prozeß-E/A-Simulation ausgerüstet sein. Bei der Auswahl jeglicher Testvarianten (Blöcke *8.3.4*, *8.3.6*) sollte sich der technologische Prozeß maximal widerspiegeln, wobei alle Programmteile einzubeziehen sind. Eine übersichtliche Dokumentation der Vergleichsergebnisse (z. B. tabellarische Zuordnung zwischen Eingangs- und Ausgangsbelegungen) vermittelt der Inbetriebsetzung, aber auch schon dem Fertigungsprüffeld einen Überblick über den Grad der Austestung in der Projektierungsphase.

Daß alle genannten Bedingungen auch für (genehmigte!) Änderungen jeglicher Herkunft strikt einzuhalten sind, bedarf der ausdrücklichen Erwähnung.

Zur Illustration dient der an das Beispiel Zündölbrenner des Abschnitts 6.2. angelehnte Anwenderprogrammausschnitt nach Tafel 6.3.8a, geschrieben in der Fachsprache PN 5000 (vgl. Tafeln 6.3.5, 6.3.6). In diesem Zusammenhang werden beispielhaft Vorschläge zur Ausführung der erforderlichen Listen und Formulare mitgeteilt. Bezeichnungen für Variablen, Merker u. ä. sowie ihre Adressen sind dabei willkürlich gewählt.

6.3.3. Funktionssichere Gestaltung

Die Funktionsfähigkeit einer Prozeßsteuerung innerhalb einer gegebenen Zeitdauer ist gekennzeichnet durch

- eine fehlerfreie Arbeitsweise auch bei definierten Grenzwerten von Spannungen, Strömen, Verlustleistungen sowie der Umgebungsbedingungen
- Unempfindlichkeit gegenüber internen und externen elektromagnetischen Störungen bestimmter Größe
- Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit.

Die erste Komponente ist ebenso wie die Sicherheit gegenüber internen Störquellen immanenter Bestandteil der eingesetzten Gerätesysteme und Einrichtungen (vgl. Abschnitte 4. und 5.2.) und

somit vorgegeben. Die Aufgabe der Projektierung besteht nun darin, diese Wesensmerkmale zu erhalten, systematisch präventiv die Störfestigkeit gegenüber externen Störungen herzustellen und durch bestimmte Maßnahmen die Zuverlässigkeitskennwerte ggf. sogar noch zu verbessern, um bezüglich der Funktionssicherheit ein maximales Ergebnis zu bekommen. Ständige qualitätssichernde Maßnahmen, vor allem aber in den sich anschließenden Prozeßabschnitten, müssen dieses Projektierungsziel selbst für worst case-Bedingungen sicherstellen, da es sich in einer montierten Anlage nachträglich nicht bzw. nur mit unvertretbar hohem Aufwand verwirklichen läßt. Von nicht zu unterschätzender Bedeutung ist in diesem Zusammenhang auch die Dokumentation, unerläßliches Instrument einer effektiven Inbetriebsetzung und Wartung.

Beide Problemkreise werden ausführlich in entsprechenden VEM-Handbüchern [6.33] [6.110] dargestellt, so daß an dieser Stelle nur auf einige zugeschnittene, meist gleichermaßen für VP- und SP-Einrichtungen geltende Fragen eingegangen werden soll.

6.3.3.1. **Störsicherheit** [6.67] [6.68] [6.110] [6.111] [6.112]

Zur realen Umgebung von Prozeßsteuerungen — also die bekannten Einsatzbedingungen von Industrieanlagen — gehören auch die Existenz von elektrischen und magnetischen Feldern sowie Unregelmäßigkeiten in der Versorgungsenergie. Sie werden durch andere, meist leistungsstärkere Verbraucher, wie Kontakte, elektronische Schaltglieder (Stromrichter), Induktivitäten (Schütz-, Relaisspulen, Transformatoren), Motoren, sowie durch Reflexionen in Leitungen und Hohlräumen (Gefäßen) verursacht. Im Hinblick auf Überspannungen in Niederspannungsnetzen verdient der unerwartet starke Einfluß scheinbar „harmloser", leistungsschwacher Verbraucher (einfache Schalt-, Haushaltgeräte, Leuchtstofflampen u. a.) ausdrückliche Beachtung, generieren sie doch Spitzen bis zu 1 ... 2 kV. Neben diesen zur Informationsverarbeitung externen Störquellen (vgl. Bild 6.3.6, quantitative Angaben zu realen Störpegeln sind in [6.69] [6.73] [6.74] enthalten) treten auch interne, also systemeigene Störer gleicher oder ähnlicher Art auf, die aber hier nicht näher beleuchtet werden. Die Kopplung mit der Informationsverarbeitung geschieht auf kapazi-

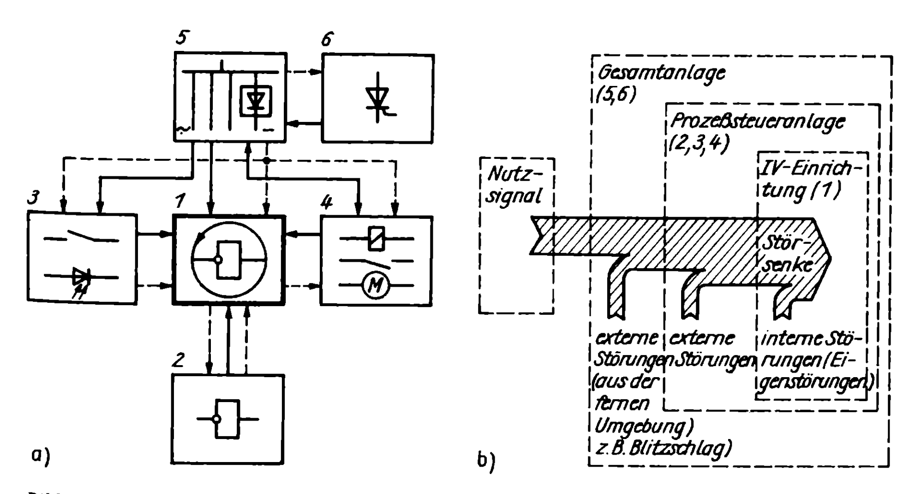


Bild 6.3.6. Störbeeinflussung

a) Schema zur Störbeeinflussung

1 störempfindliche Informationsverarbeitung (IV, VP-, SP-Einrichtung); *2* VP-, SP-Einrichtung (bei verteilten Systemen); *3* Prozeßmeßglieder; *4* Prozeßstellglieder; *5* Anlagenstromversorgung (ASV); *6* weitere Verbraucher (z. B. Stromrichter); ——→ Wirkungsrichtung der Störungen; - - -→ Signal- bzw. Energiefluß

b) Zusammenhang Nutzsignal — Störsenke

tivem, induktivem oder galvanischem Weg und ruft ggf. Störungen hervor. Die Aufgabe des Projektanten einer Steuerung besteht darin, die elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) mit dieser verseuchten, aber objektiv kaum veränderbaren Umwelt herzustellen, d. h., die Kopplung zwischen Störer und störempfindlichem System zu vermeiden, mindestens aber auf das zugelassene Maß zu begrenzen.

Beim Festlegen von Maßnahmen zum Erzeugen dieser Verträglichkeit unterscheidet man folgende Bereiche (vgl. Bild 6.3.6):

a) Informationsverarbeitung (Schutz der Einrichtung bzw. des Gefäßes gegen interne und externe Störer), Kopplung *1* — *1*
b) Signaleingänge (Schutz der Übertragungsstrecken), Kopplung *1* — *2*, *1* — *3*
c) Signalausgänge (Schutz der Übertragungsstrecken und gegen Rückwirkungen vom Stellglied), Kopplung *1* — *4*
d) Energieversorgung, Kopplung *1* — *5* (eingeschlossen der Umweg über *3*, *4*).

Hält sich der Projektant im Bereich a) strikt an die vom Entwickler vorgegebene, kaum Spielraum lassende Anwendungsrichtlinie, ist eine betriebssichere Arbeitsweise garantiert. Im Gegensatz dazu erfordern die Bereiche b), c), d) eine echte Projektierungsleistung zum Erzeugen der Störsicherheit unter Ausnutzung des Katalogs der bekannten Maßregeln. Der hier nicht aufgeführte Blitzschutz ist anlagen- und aufstellungsabhängig u. U. in allen Bereichen vorzunehmen. Davon

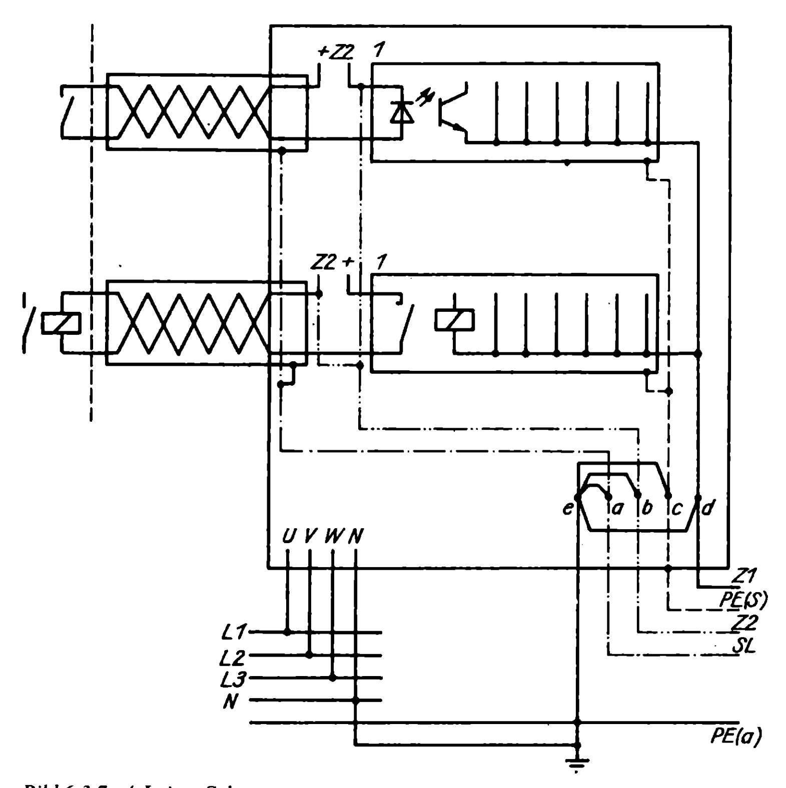


Bild 6.3.7. 4-Leiter-Schutzsystem

1 Baugruppeneinsätze zur Aufnahme von E/A- und IV-Modulen (einschließlich Stromversorgung)

Z1 Bezugsleiter der IV-internen Versorgung; *Z2* Bezugsleiter der prozeßseitigen Versorgung; *PE(S)* systeminterner Schutzleiter; *SL* Schirmleiter

unbeeinflußt sollten aber an den Netzeingangsklemmen der Einrichtungen grundsätzlich Überspannungsbegrenzer (z. B. Z-Dioden, Varistoren o. ä.) installiert werden. Ihren Niederschlag finden die empfohlenen Maßnahmen in Arbeits- bzw. Projektierungsrichtlinien, auch für die Gesamtanlagengestaltung; das Ergebnis ihrer Anwendung spiegelt sich in den Projekt-, insbesondere den Verkabelungsunterlagen wider.

Schwerpunkt der Entwurfstätigkeit bildet die Verkabelung der verschiedenen Bestandteile einer Prozeßsteuerung. Eine schützende sternförmige Mehrleiterstruktur muß innerhalb der Gefäße (Bild 6.3.7) erzeugt bzw. kann bei funktionell dezentralisierten, aber räumlich konzentrierten Prozeßsteuerungen auch außerhalb der Gefäße aufgebaut werden.

Räumlich ausgedehnte Anlagen — bestehend aus mehreren Schränken oder Einrichtungen (auch für Geber, Stellglieder usw.) — benötigen einen separaten Anlagenschutzleiter *PE*(*a*). Das Minimum an Störeinkopplung erreicht man, wenn sich alle Gehäuse und ihre Bestandteile auf gleichem Potential befinden. Zu diesem Zweck werden die Verlängerungen der systemeigenen Schutzleiter *PE*(*S*) möglichst sternförmig an den Schutzleiteranschluß des Systemzentrums geführt und punktförmig mit dem Anlagenerdpunkt verknüpft. Sinngemäß kann mit Bezugs- und Schirmleiter verfahren werden. Allerdings ist auch das schrankinterne Verbinden der Punkte *SL*, *Z2* — *Z1*, *PE*(*a*) zulässig (vgl. Bild 6.3.7). Ein solches System mit separatem Schutzleiter bzw. -erder erfordert allerdings das isolierte Aufstellen seiner Komponenten, sogar der Baugruppeneinsätze. Steht kein gesonderter Schutzleiter *PE*(*a*) bereit und werden die verschiedenen Anlagenteile (Gehäuse) willkürlich mit der Hallenkonstruktion und damit untereinander verschweißt, verschlechtern sich die Verhältnisse. Signalleiter können ggf. Störströme führen. Um diesen Einfluß zu reduzieren, wird eine Potentialausgleichsverbindung sowohl zwischen den Gefäßen als auch in ihrem Inneren unter Benutzung der systemeigenen Schutzleiter *PE*(*S*) und eines die Schutzleiterfunktion übernehmenden externen Leiters (*PE*) hergestellt.

Bezüglich der Stromrichterrückwirkung sei angemerkt, daß für die Versorgung von SPS ein von Stromrichterlasten freies Netz zu empfehlen ist. Übersteigt die Kurzschlußleistung des Einspeisepunktes das 10- bis 20fache der angeschlossenen Stromrichterleistung nicht deutlich, ist auf jeden Fall eine separate Versorgung erforderlich [6.70] [6.71].

Jede Annäherung der Signal- und Versorgungsleitungen an Mittel- und Hochspannungsanlagen ist zu vermeiden; denn bei Schaltvorgängen in Anlagen dieser Spannungsebenen treten in den Signal- und Versorgungsleitungen nicht mehr beherrschbare Störimpulsamplituden auf [6.72]. Sollten diese Abstandsvorschriften nicht realisierbar sein, müssen die Signalkabel magnetisch geschirmt in Stahlrohren oder bei einer umfangreichen Anzahl in Stahlblechkanälen untergebracht werden.

6.3.3.2. **Zuverlässigkeit von Hardware und Software** [6.33] [6.76] [6.77]

Die Zuverlässigkeit — gemäß TGL 26096/01 als „Eigenschaft einer Betrachtungseinheit, vorgegebene Funktionen unter Einhaltung der Werte festgelegter Parameter in vorgegebenen Grenzen, die den vorgegebenen Betriebsarten und Bedingungen der Nutzung, der Instandhaltung, der Lagerung und des Transportes entsprechen, über ein bestimmtes Zeitintervall zu erfüllen“ definiert — beschreibt als weiteres Gütemerkmal quantitativ das Langzeit- bzw. Lebensdauerverhalten. Entsprechende Kennwerte für die Komponenten einer Prozeßsteuerung werden dem Projektanten durch die Entwicklung vorgegeben [6.75]. Neben diesem „Hineinentwickeln der Zuverlässigkeit“ gehört, daraus abgeleitet, das Ausarbeiten von Projektierungsvorschlägen [6.113] zum Ausnutzen, sogar zum Erhöhen (z. B. durch Redundanz) der angegebenen Daten zu den Primäraufgaben der Zuverlässigkeitsarbeit. Der Zuständigkeitsbereich des Projektanten liegt mehr im sog. Sekundärbereich mit folgenden Aufgaben:

- die Ausfallprognose (das projektabhängige, ggf. auch experimentelle Ermitteln der Zuverlässigkeitskennwerte)
- die Serviceorganisation (zum Beseitigen der Ausfälle und der Ausfallursachen)
- die Ausfallanalyse (die Organisation der Datenrückmeldung zum Ermitteln der Betriebszuverlässigkeitswerte und von Schwachstellen).

Mit dem Vordringen der SP-Technik erhält die Zuverlässigkeitsproblematik eine neue Dimension – die Software. Dazu befinden sich am Schluß des Abschnitts einige Ausführungen.

Ausfallprognose

Der Standard TGL 26096 zwingt jeden Hersteller einer technischen Einrichtung zur quantitativen Bewertung der Zuverlässigkeit. Je nach Art des Erzeugnisses werden mit einer Schlüsselzahl (TGL 26096/04) die erforderlichen Kenngrößen codiert. Für reparierbare Einrichtungen – wie sie eine Prozeßsteuerung darstellt – gilt im allgemeinen die Schlüsselzahl 414. Zur quantitativen Bewertung der Zuverlässigkeit sind somit folgende Kenngrößen heranzuziehen:

- mittlerer Ausfallabstand Θ
- Dauerverfügbarkeit V_D^x
- technischer Nutzungsfaktor V_N^x
- gammaprozentuale effektive Lebensdauer $T_{eff\,\gamma}$
- gammaprozentuale Lebensdauer T_γ.

Für ihre Berechnung ist, ausgehend vom Blockschaltbild einer Steuerungsanlage, das Zuverlässigkeitsersatzschaltbild aufzustellen. Dabei bieten sich zwei Betrachtungsweisen an:

- Ausschluß des technologischen Prozesses bzw. Untersuchung gekoppelter Prozesse
- Einbeziehung des technologischen Prozesses.

Im ersteren Fall leitet sich für alle Anordnungen (ohne Redundanz) eine Serienschaltung ab; im zweiten Fall wird die Wirkung der Ausfälle auf den technologischen Prozeß betrachtet. Nimmt man nun an, daß bestimmte Funktionseinheiten bzw. Komponenten untereinander und damit auch hinsichtlich ihrer Wirkung entkoppelt sind, führt diese Sicht zu einer Serien-Parallel-Schaltung, die für Prozeßsteuerungen von universeller Bedeutung ist.

Um die Prognose für das Ausfallverhalten günstiger zu gestalten, sind ggf. folgende zuverlässigkeitserhöhende Maßnahmen alternativ, aber auch gemeinsam anzuwenden:

- mehrkanalige Auslegung wichtiger MSR-Stellen
- Verdopplung von Gebern unter Anwendung von Auswahlschaltungen bzw. eines zentralen Überwachungssystems mit Anzeige defekter Geber und der daraus abgeleiteten Umschaltung auf das redundante Gerät
- redundante Ausführung von bestimmten Funktionseinheiten oder Komponenten [6.84] [6.85]
- Anwendung von Schutzmaßnahmen gegen Erd- und Kurzschluß sowie Leiterbruch (Schalten gegen das Potential)
- Einsatz von Geräten (Gebern, Stellgliedern, Anzeigen usw.) mit VPS- oder SPS-kompatiblen Toleranzbereichen für die Pegel
- Erhöhen der Versorgungssicherheit der Prozeßsteuerung durch
  - Installation einer unterbrechungsfreien Stromversorgung (vgl. Abschn. 5.)
  - redundante Einspeisung auf Mittelspannungsebene
  - selektives Schutzsystem.

Wirken sich vorstehende Maßnahmen vor allem auf die Steigerung von Θ aus, reduziert ein durchdachtes Diagnosekonzept die Reparaturzeit und erhöht somit die Verfügbarkeit. Außerdem gestattet es u. U. dem Projektanten, auf „kostbare" projektierte Reserven zu verzichten. Auf seiten der Hardware dienen der Diagnose

- Status- und Kurzschlußanzeigen (in Kombination mit einer Wiedereinschaltsperre nach erfolgtem Kurzschluß)
- Rückmeldungen von Stellgliedsignalen und ihre Auswertung
- die Überwachung der Versorgungsspannungen sowie ihrer Schutzeinrichtungen (z. B. der Sicherungen u. ä.)
- Installation eines zentralen mikrorechnergestützten Überwachungs- und Informationssystems [6.81] [6.82]
- Anwendung geeigneter Servicegeräte, sogar anwendungsspezifischer, ständig betriebsbereiter Meßplätze.

Softwareorientierte Diagnosemaßnahmen sind natürlich ausschließlich bei SP-Einrichtungen möglich. Als erfolgversprechend sind in diesem Zusammenhang zu nennen:

- Eigenüberwachung der zentralen Recheneinheit einschl. ihrer Speicher
- Kontrolle der Programmlaufzeiten
- Überwachung der Eingabe- und Ausgabekarten durch Rücklesen und konfigurationsabhängige E/A-Testroutinen
- Kontrolle der Datenübertragungsroutinen auf Fehlerfreiheit
- hierarchisch und zeitfolgerichtig aufgelöste Fehlerdarstellung mittels Display oder Hard-Copy-Einrichtungen (Drucker o. ä.).

Werden diese Maßnahmen einer Zusatzeinrichtung übertragen, spricht man von Fremddiagnose.

Darüber hinaus tragen auch methodische (hardware und softwareunterstützte) Hilfsmittel, wie

- programmierbare Fehlersuchstrategien
- konfigurationsabhängige Testalgorithmen u. a.,

zur Verbesserung des Ausfallverhaltens bei.

Differenziert man die mittlere Ausfalldauer in die Anteile für die Fehlersuche und die eigentliche Instandsetzung, tragen vor allem Diagnose, methodische Hilfsmittel und der Service zur Reduzierung der Fehlersuchzeit bei.

Dem Aufwand für vorgenannte zuverlässigkeitserhöhende Maßnahmen sind durch die Kosten Grenzen gesetzt. Zwischen den Nichtverfügbarkeitskosten (Reparatur-, Stillstandskosten) und Verfügbarkeitsaufwendungen (für Entwurf/Gestaltung, Reserveteilhaltung, Ausbildungsniveau des Bedienungspersonals u. a.) ist ein vertretbarer Kompromiß zu finden, der i. allg. durch die *Organisation des Service* bestimmt wird (Einzelheiten vgl. Abschn. 7.4.).

Um die Sicherheit der Progrnose zu erhöhen, sind ggf. Dauererprobungen im Prüffeld und anderswo zum Bestätigen der Zuverlässigkeitsentwurfswerte zu organisieren.

Ausfallanalyse

Im Ergebnis einer systematisierten Analyse des Ausfallverhaltens liegen Aussagen über die Betriebszuverlässigkeit vor, die erfahrungsgemäß mindestens um das Zweifache größer als die des Entwurfs ist [6.75]. Des weiteren zeigen Betriebserfahrungen, daß trotz Zunahme der Kompliziertheit von Prozeßsteuerungen als Ausdruck des gewachsenen Integrationsgrades der Bauelemente die Störungsanzahl weitgehend konstant bleibt, die Störungsdauer aber zunimmt [6.78].

Primärdaten zum Ermitteln der Zuverlässigkeits- und Wartungskennwerte liefert ein Datenrückmeldesystem (TGL 33685, TGL 22500/06 [6.79] [6.80] [6.96]).

Grundsätzlich fügt sich auch die Komponente Software in den Rahmen der eingangs genannten Formulierung. In Erweiterung dieser Definition und in Anlehnung an [6.86] [6.87] läßt sich die *Software-Zuverlässigkeit* als „die fehlerfreie Arbeitsfähigkeit eines Programmsystems (vgl. Tafel 6.3.3) über einen bestimmten Zeitraum unter bestimmten Umgebungsbedingungen und Beanspruchungen mit umgebungs- und funktionsbedingten Störungen bei gegebener Wartbarkeit" beschreiben. Eine quantitative Bewertung zeigt aber prinzipielle Unterschiede im Fehlerverhalten zwischen Software und Hardware. Der klassischen „Badewannenkurve" steht ein hyperbolischer Verlauf gegenüber. Außerdem sind Software-Defekte im Gegensatz zu Hardware-Ausfällen grundsätzlich Erarbeitungsfehler. Ihre Beseitigung ist endgültig, allerdings steigt der Kostenaufwand exponentiell mit dem Arbeitsfortschritt des Gesamtprojekts. Mit zunehmender Betriebsdauer muß immer mit weiteren Störungen (Fehlern) gerechnet werden, da die gesamte Leistungsfähigkeit des Programmsystems nur im Komplex mit der technologischen Anlage — nicht aber im Prüffeld — getestet werden kann.

Zum Erzielen einer möglichst hohen Software-Zuverlässigkeit und damit der Gesamtsystemzuverlässigkeit sind bei der Software-Erarbeitung ebenfalls qualitätssichernde Maßnahmen erforderlich, wie sie sich in der Geräte-/Einrichtungsentwicklung bewährt haben [6.88] [6.93] [6.116]

[6.118]. Sie müssen, bedingt durch den geschilderten Kostenaufwand zum Beseitigen erkannter Fehler, frühzeitig und mit aller Konsequenz eingeführt und überwacht werden.

Solch ein projektbegleitendes Qualitätssicherungssystem für die Software (QSS-S) besitzt zwei Komponenten. Zu den restriktiven Maßnahmen zählen

- methodische Entwurfsvorschriften (z. B. strukturiertes Vorgehen, Top-down-Programmierung), sie werden bereits mit der Formulierung der Aufgabenstellung festgeschrieben und führen zur Transparenz des Programmsystems (Gliederung in überschaubare Programmbausteine, zugeordnet zu technologischen Abschnitten)
- Vorschreiben/Definition einer bestimmten Sprache (vgl. Abschn. 6.3.2.2.)
- Schaffen einer geeigneten Dokumentation (Vorgabe von Gliederungen u. a.) für eine übersichtliche Inbetriebsetzung und Wartbarkeit (diese Eigenschaft sichert entscheidend auf Dauer die Qualität und ermöglicht Verbesserungen und Änderungen)
- Empfehlungen zum Vermeiden fehleranfälliger Programmkonstruktionen.

Sein überprüfender Teil beinhaltet

- die Kontrolle der Arbeits- (auch Zwischen-)Ergebnisse durch unabhängige, außenstehende Personen (Analogie zur Musterabnahme)
- den personell möglichst vom Programmbearbeiter getrennten Software-Test in allen Stufen des Projekts bei weitgehender Testabdeckung vor der Inbetriebsetzung ($\geq 80\%$).

Wirksam wird ein derartiges QSS-S freilich nur dann, wenn im Stadium der Projektablaufplanung die dazu erforderlichen Kapazitäten und Kosten bilanziert werden. Immanenter Bestandteil muß gleichfalls ein Datenrückmeldesystem sein (Führen eines Fehlerkatalogs), das wiederholtes Auftreten von Programmdefekten ausschließt. In diesem Bereich ist nämlich das dokumentierte „Wissen um Mißerfolge“ wichtiger und nützlicher denn je.

6.3.4. Hilfsmittel für Projektierung und Programmierung

Ausgehend von Bild 6.1.1 lassen sich die erforderlichen Arbeits- bzw. Hilfsmittel in

- methodische und formale Hilfsmittel
- beschreibende Arbeitsmittel (Vorschriften u. ä.) sowie
- gerätetechnische Arbeitsmittel

einteilen. Die Vorgehensweise, die sich ausschließlich auf die erst genannten zwei Gruppen, die als Projektierungskatalog bereitgestellt werden, konzentriert, bezeichnet man als „Katalogprojektierung“. Gelangen darüber hinaus Komponenten der nächsten Gruppe zum Einsatz, spricht man von „rechnergestützter (oder gar halb- bzw. automatischer) Projektierung“. Bei der Software-Erarbeitung in der SP-Technik sind sie allerdings nicht nur Mittel der Wahl, sondern unabdingbare Arbeitsinstrumente.

Der gesamte Umfang dient natürlich neben der Qualitätssicherung auch der Rationalisierung. Seine mit der Projektierungs-/Produktionseinführung neuer Gerätefamilien mindestens zeitgleiche Bereitstellung trägt unter Beachtung der zugrunde gelegten systemtechnischen Aspekte dazu bei, für vergleichbare Aufgaben gleichartige Lösungen auf weitgehend formalem Weg sowie ein bezüglich Quantität und Qualität einheitliches Projektierungs- bzw. Fertigungsniveau zu erreichen. Ein solcher Katalog von „Werkzeugen“ engt den Bewegungsspielraum des Projektanten zwar ein, entlastet ihn aber von nichtschöpferischen Tätigkeiten, um seine Kreativität gezielt auf die Entwurfsarbeit zu konzentrieren. Insgesamt wird damit eine wesentliche Voraussetzung für den Übergang von der „maßgeschneiderten“ zur „konfektionierten“ Ausrüstung geschaffen (vgl. Einleitung zum Abschn. 6.).

Maßstab für die Güte des vorstehend genannten Instrumentariums ist letztlich die Qualität der kostengünstig zu produzierenden Prozeßsteuerung einschließlich der dazugehörigen Dokumentation (Abschn. 6.4.).

6.3.4.1. Methodische und formale Arbeitsmittel

Methodische Arbeitsmittel umfassen Unterlagen

- zum Projektierungsprozeßablauf (Folge von Arbeitsschritten)
- Organisationsanweisungen.

Der erste Komplex wird zweckmäßig hierarchisch gegliedert, so daß, ausgehend von einem Übersichtsablauf, die Teilarbeitsschritte aufgefunden werden können. Vorteilhaft ist es dabei, einzelnen Arbeitsschritten zu ihrer Ausführung benötigte Unterlagen bzw. Hilfsmittel zuzuordnen. Zu den organisatorischen Anweisungen zählen z. B. Vorschriften zum

- Gestalten der Projektdokumentation
- Anfertigen/Vervielfältigen dieser Dokumentation
- Archivieren von Unterlagen
- Anfertigen von Zweitoriginalen und Mikrofilmen (z. B. Bauteile von Zulieferern)
- Bestandteile von Materialien.
- Kalkulieren von Preisen.

Zwangsläufig müssen sich mit Einführung der SP-Technik Unterschiede zwischen der Behandlung von Hardware- und Software-Unterlagen ergeben, obwohl natürlich eine weitgehend einheitliche Verfahrensweise anzustreben ist.

Der formale Anteil beinhaltet etwa

- Fragebögen (zur Klarstellung der Aufgabenstellung, zur Sicherheitsbewertung u. ä.)
- Formblätter (zum Erstellen von Bestell-, Dokumentationsunterlagen, AKBS-Kennblättern u. ä.)
- Formatfestlegungen für Dokumentationen (z. B. ausschließlich A3)
- Schlüssel für das Zeichnungsnummern-System.

Formblätter als durchaus effiziente Arbeitsmittel stehen sowohl für Hardware-Unterlagen von VPS und SPS (z. B. Ausrüstungslisten, Belegungspläne, Listen von Verbindungsleitungen, Schilderlisten für Bezeichnungsunterlagen) als auch für die Software von SPS (z. B. E/A-Liste, Liste von Merkern, Konstanten und RAM-Daten, Tabellen über Zeitwerke, logische Geräte sowie für Speicherkartenbelegung und -bestückung) zur Verfügung. Tafel 6.3.8 und Bild 6.3.8 demonstrieren beispielhaft für eine SP-Einrichtung einige solcher Arbeitsblätter. In diesem Zusammenhang soll noch einmal die Bedeutung der Liste der Ein- und Ausgänge (E/A-Liste)

Speichertyp	Schaltkreisplatz	Schaltkreisbezeichnung	Absolute Adresse	Belegung

Brücken für Anfangsadresse:	
Absolute Anfangsadresse:	
Brücken für Speicherfolge und Betriebsart:	
Kartentyp:	Typ-Nr.:
Einbauplatz:	
Blatt-Nr. der Karte:	Blattanzahl der Karte:

Bild 6.3.8
Formblatt für die Projektierung von SP-Einrichtungen — Speicherkartenbelegung

unterstrichen werden, stellt sie doch eine entscheidende Unterlage für alle Prozeßabschnitte bis zum Service/Kundendienst dar, da mit ihr eine übersichtliche Darstellung des Zusammenhangs von Gerätetechnik und Anwenderprogramm gelingt.

6.3.4.2. Beschreibende Arbeitsmittel (kataloggestützte Projektierung)

Unter dieser Rubrik werden alle Projektierungsvorschriften, Richtlinien zur Unterlagenausführung, Kataloge über Zuliefer-Systemteile, betriebliche Standards u. ä. eingeordnet (Tafel 6.3.9).

Tafel 6.3.9. Beschreibende Arbeitsmittel (Übersicht)

Projektierungsvorschriften	Erzeugnisunterlagen-(Hardware)	Unifizierte Erzeugniskataloge für auftragsneutrale Information	Richtlinien zur Unterlagengestaltung	Software-Standardunterlagen	Betriebliche Standards
Steuerungen (Aufbauprinzipien, Projektierungshilfen für projektspez. AP u. für die AKBS-Generierung) Wartengestaltung Anlagengestaltung Schrankgestaltung Inbetriebsetzung	projektunabhängige Unterlagen über Gefäße 3. Ordnung (Schrank) Baugruppensysteme (VPS-, SPS-Kataloge) Systemteile (Katalog)	Identifikation von Serienerzeugnissen (Bestelltextkartei) Systemteilen	Stromlaufplan formalisierte Aufgabenstellung Logikplan	Sprachbeschreibung Compilerbeschreibung Testsystembeschreibung Betriebssystembeschreibung u. a.	Begriffssystematik xn-Bezeichnungssystematik Ausführungs-/Einsatzklassen u. ä.

Besitzt die Gruppe der Erzeugnisunterlagen vorwiegend einen die technische Leistungsfähigkeit der Betrachtungseinheit beschreibenden Charakter (Kennwerte, Wirkungsweise, Verwendungszweck, Anwendungshinweise), so handelt es sich bei den unifizierten Erzeugnisunterlagen um Informationen, die sich mehr an einer rationellen Herstellung von Projekt- und Fertigungsunterlagen sowie an der Vorbereitung der Rechnerstützung des Projektierungsprozesses orientieren. Die Bestelltextkartei – ein codierter Bauteilkatalog – gibt u. a. über den Bestelltext, wichtige technische, materialwirtschaftliche und technologische Daten sowie über Preise von Zulieferteilen Auskunft. Eine Erzeugnisbeschreibung mit Stücklistencharakter (also für zusammengesetzte Komponenten) dagegen ist der Systemteilkatalog. In ihm werden solche Daten, wie Positions-Nr., Menge je Position und Identifikations-Nr. der Komponente, Fertigungsort, Vorratsnorm und Arbeitszeitaufwand, gespeichert. Als ein Systemteil bezeichnet man dabei einen mechanischen oder elektrotechnischen Gegenstand, der einen universellen Einsatz gestattet. Seine Lagerfähigkeit hängt von der Zweckmäßigkeit der Vorfertigung einer bestimmten Losgröße ab. Für Gefäße 3. Ordnung (Schränke) ist das i. allg. nicht praktikabel.

Grundsatz bei der Gestaltung aller Arbeitsunterlagen muß eine rechnerfreundliche (z. T. rechnergerechte), also systematisierte Ausführung sein, um beim Übergang zur EDV-gestützten Projektierung eine problemlose Codierung und Speicherung der erforderlichen Stammdaten zu ermöglichen. Bezugsnehmend auf [6.88], bietet Tafel 6.3.10 beispielhaft eine denkbare Gliederung einer Erzeugnisunterlage für ein VP-Gerätesystem.

Die Veröffentlichung der beschreibenden Arbeitsmittel kann durchaus als Einzelunterlage erfolgen, obwohl natürlich eine Zusammenfassung in Katalog- oder Handbuchform vorteilhafter ist, allerdings sollte in jedem Fall mit einem Minimum von Verweisen gearbeitet werden. Daß zu

Tafel 6.3.10. Aufbau eines Erzeugnis-(Bauteil-)Katalogs

Katalogteil	Band bzw. Mappe	Abschnitt	Unterabschnitt	Blatt	
Gliederungs-ebene	Hauptklasse	Klasse	Unterklasse	Bauteilgruppe	Bauteil
Beispiele	Schaltgeräte		Systemdaten		
	Meßeinrichtungen	ursalog S	Eingangs-BG	Ein-Richtungs-Antriebs-BG →	Ein-Richtungs-Antriebs-BG
	elektronische Bausteinsysteme →	ursalog 4000 →	Ausgangs-BG	Umkehrantriebs-BG	
		ursatron 5000	log. Grundfunktionen		
			Antriebssteuerungen →		
			Stromversorgung		

ihrer Pflege ein ständiger Änderungsaufwand getrieben werden muß, resultiert aus den Wandlungen der Einbauteile, den Fortschritten an den Gerätesystemen, der Auswertung der Datenrückmeldung (vgl. Abschn. 6.3.3.2.), aus aktuellen Inbetriebsetzungserfahrungen u. ä. Insbesondere bei den Artikelkatalogen führt der Einsatz von EDV-Anlagen zu einer Rationalisierung dieser Aktualisierungsarbeit [6.100].

6.3.4.3. Gerätetechnische Arbeitsmittel (rechnergestützte Projektierung)

Gerätetechnische Arbeitsmittel sind rechentechnische Einrichtungen; vor allem sie entlasten den Projektanten von formalen Arbeiten. Beim Projektieren von VP-Systemen bewirken sie neben der Rationalisierung ebenfalls eine Qualitätssteigerung, da die rechentechnischen Routinearbeiten bei manueller Ausführung eine höhere Fehlerquote gegenüber kreativen Tätigkeiten aufweisen. Mit der Einführung der SP-Technik steigt ihre Bedeutung, da nunmehr der Einsatz für den Software-Anteil zwingend ist.

Im Verlauf der technologischen Vorbereitung von Prozeßsteuerungen (Bild 6.1.1) stehen eine Reihe von Aufgaben an, die von leistungsfähigen EDV-Anlagen übernommen werden können. Neben der zentralen Aufgabe Projektierung und Konstruktion sind auch

- Kapazitäts- und Produktionsplanung (Terminplanung, Überwachung)
- Materialplanung, -bestellung und -abrechnung
- technologische Organisation (Materialbeistellung u. a.)
- Projektabrechnung

der Rechnerabarbeitung zugänglich [6.114]. Selbstverständlich erfordert jede Aufgabe ein gesondertes Programmsystem mit zugehörigen speziellen Stammdatenspeichern. Der Arbeitsablauf, Bild 6.3.9, verdeutlicht das Zusammenspiel der verschiedenartigen Informationsarten innerhalb der Teilaufgabe „Projektierung Hardware" (vgl. Abschn. 6.3.1) [6.18] [6.89]. Der damit verbundene Leistungsumfang ersetzt im wesentlichen die Aktivitäten *8.1.5*, *8.1.9* im Ablauf nach Bild 6.3.2. Unverkennbar ist die Zweiteilung in einen projektabhängigen und in einen auftragsneutralen Teilprozeß. Ihre Korrespondenz liefert die geforderten geprüften Fertigungsunterlagen im Klartext bzw. als codierte Übergabeunterlagen für andere EDV-Projekte (z. B. Verdrahtung, Anlagenverkabelung). Im sich anschließenden, wiederum manuellen Abschnitt werden bestimmte Unterlagen (Stromlaufpläne, Schilderlisten, Bauangaben usw.) vervollständigt. Die Darstellung macht auch die Bedeutung der Datenspeicher sichtbar. Ihr Informationsinhalt übersteigt die Angaben nach Tafel 6.3.9; zusätzlich enthalten sie für Fertigung und Materialwirtschaft besonders relevante Informationen [6.19].

Zum Bewältigen dieser umfangreichen Aufgaben (Programme) eignen sich ausschließlich Großrechner (etwa der Reihe ESER), wobei sie überwiegend im Stapelbetrieb laufen. Zunehmend dringt aber die interaktive Datenverarbeitung in Verbindung mit dezentralisierten Bildschirmarbeitsplätzen vor.

Für die Projektierung der Software dienen gerätetechnische Hilfsmittel nicht primär der Rationalisierung. Nur mit ihrer Hilfe überhaupt läßt sich das maschinenlesbare Anwenderprogramm im Maschinen-(MC-)Code bereitstellen. In Frage kommen für diese erste Stufe des Computer-Aided-Software-Design (CAS) [6.101]

— Entwicklungssysteme [6.90]
— Programmiergeräte (vgl. Abschn. 4.3.)
— Wirtsrechner (EDV-Anlage).

Sie verwalten den Software-Stammdatenspeicher, der also über die im Abschnitt 6.3.2.2. erläuterten Software-Arbeitsmittel (vgl. Tafel 6.3.3) verfügt. Wirtsrechner haben sich bisher nicht durchgesetzt. Von Interesse werden sie freilich dann, wenn es gilt, einen Speicher fertiger und der Wieder-

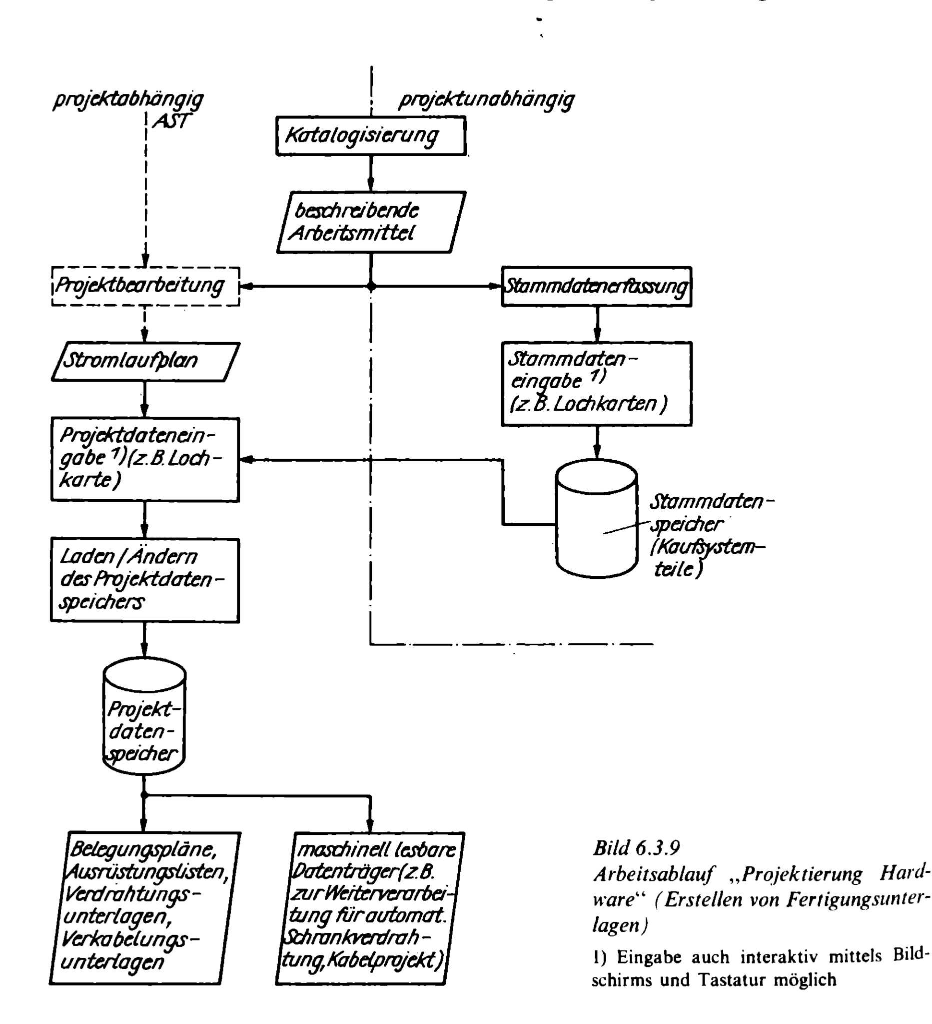


Bild 6.3.9
Arbeitsablauf „Projektierung Hardware" (Erstellen von Fertigungsunterlagen)

1) Eingabe auch interaktiv mittels Bildschirms und Tastatur möglich

holanwendung zur Verfügung stehender Software-Lösungen — das „Software-Lager" — mit kürzester Zugriffszeit zu eröffnen.

Die in Frage kommenden Systemsoftware-Komponenten können sowohl auf einem Entwicklungssystem als auch auf einem Programmiergerät lauffähig sein. Ersteres ist meist externspeicherorientiert, kann also auf einen größeren Speicherbereich zurückgreifen und verfügt daher über diese Pakete gleichzeitig. Als externe Speicher gelangen vorzugsweise Folienspeicher (Disketten) [6.91] zum Einsatz; im Mittel beträgt bei ihnen das Speicherplatzangebot etwa 1100 kbyte je Folie. Bei den überwiegend internspeicherorientierten Programmiergeräten müssen die Systemprogramme infolge der begrenzten Speicherkapazität nacheinander von geeigneten Externspeichern (Magnetbänder, Speicherumfang etwa 400 kbyte/Kassette) eingelesen werden. Dadurch erfordern z. B. die Arbeitsschritte Übersetzen und Testen jeweils vor Ausführung dieser Operation das Laden des entsprechenden Software-Pakets. Beide Gerätetypen sind oft auf einen bestimmten Prozessortyp (z. B. U 880) zugeschnitten, d. h., sie besitzen den gleichen Rechnerkern wie die zugehörige SP-Einrichtung. Sie realisieren den Ablauf (Bild 6.3.5) und unterstützen den Programmierer beim Erfassen, Korrigieren, Übersetzen und Verwalten von Anwenderprogrammen, wobei eine zumindest teilweise Prozeßsimulation möglich wird.

Die Aufgabe „Generieren eines AKBS" übernimmt ausschließlich ein Entwicklungssystem. Darunter versteht man eine Operation, die aus einem maximalen Pool von Komponenten der Betriebssystem-Software (Bild 6.3.10a) vom konkreten Anwendersystem nicht benötigte Komponenten entfernt und die Anzahl der verwaltbaren Teilprogramme (Task) auf die erforderliche Anzahl reduziert. Die sich ergebende Speicherplatzreduzierung ist ggf. kostenwirksam, da Be-

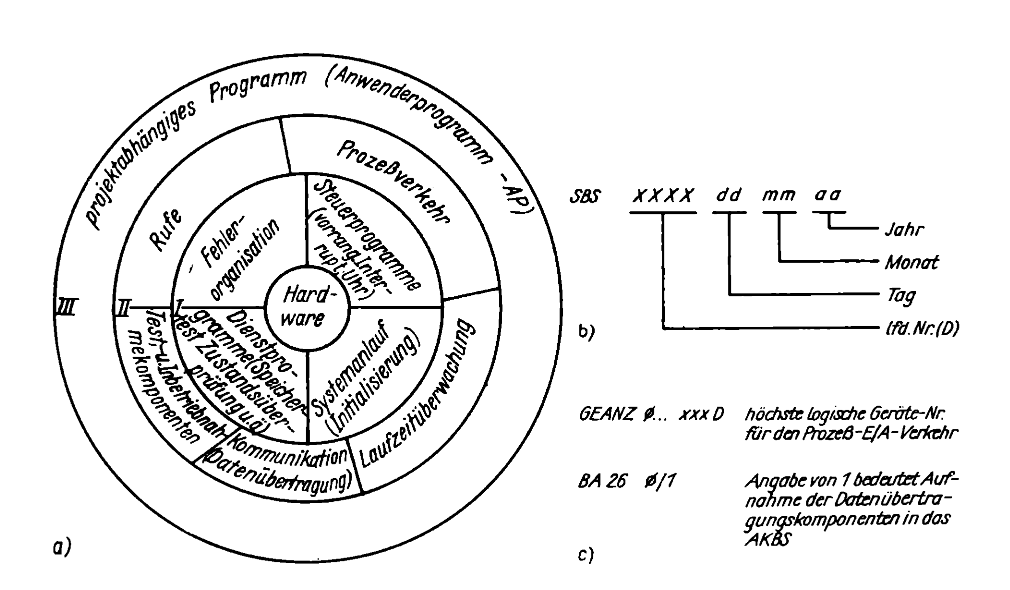


Bild 6.3.10. Echtzeitsteuerprogrammsystem (Betriebssystem)

a) Schalenmodell
Schale I: Kern (Steuerprogramm) mit weiteren, vom Anwenderprogramm nutzbaren Komponenten
Schale II: wahlweise nutzbare (generierbare) Komponenten
b) AKBS-Kennzeichnung; c) Beispiele für Rufe

triebssysteme häufig ein hohes Speichervolumen beanspruchen. Auf diese Weise entstandene Software-Pakete charakterisieren natürlich alternative Funktionsweisen als AKBS für unterschiedliche Aufgabenklassen (vgl. Abschn. 6.3.2.). Ihre unmißverständliche Kennzeichnung und Dokumentation ist deshalb notwendig (Bild 6.3.10b). Bezüglich bestehender Generierungsmöglichkeiten muß auf detaillierte Beschreibungen konkreter Betriebssysteme sowie auf die Kennblätter der AKBS verwiesen werden [6.92]. Sogenannte Marken (Bild 6.3.10c) sind in speziellen Kennblattformularen zu bezeichnen und als Auftragsbeleg an die Generierungsstelle zu übergeben. Nach der Ausführung erhält der Auftraggeber das neue AKBS auf einem geeigneten Datenträger (z. B. EPROM) mit dem dazugehörigen Kennblatt.

Aus häufig wiederkehrenden Teilprogrammen (Sequenzen von Anweisungen und/oder Vereinbarungen der gewählten Fachsprache) lassen sich zum Zweck der Aufwandssenkung sog. Komplexmodule abheben, die in einer Bibliothek zusammengefaßt werden. Ein Komplexmodulübersetzer löst diese Makrobefehle bzw. -vereinbarungen in die o. g. Befehlsequenzen wieder auf und verwaltet die Bibliothek. Dieses Software-Paket kann sowohl vom Entwicklungssystem als auch vom Programmiergerät benutzt werden.

6.4. Dokumentation

6.4.1. Grundsätze

Die im Ergebnis der Projektierung entstehende Dokumentation (vgl. Bild 6.1.1, Ausgaben *9.1*, *9.2*) muß sowohl den Bedürfnissen von Fertigung/Prüfung, Montage, Inbetriebsetzung, Service als auch den Anforderungen des Betreibers der Prozeßsteuerung entsprechen. Ihre grundlegenden Anteile (Tafel 6.3.11) sind bei Bedarf durch aufgabenunabhängige Angebots-/Informationsunterlagen für Werbe- und Angebotszwecke zu ergänzen. Folgende Grundsätze müssen das Ausarbeiten der Projektdokumentation bestimmen:

- Transparenz und Eindeutigkeit bei Beschränkung auf das Wesentliche
- Abfassen in einer verständlichen, klaren Sprache, Vermeiden unterschiedlicher Begriffe für gleiche Sachverhalte und Unterlagen
- Vollständigkeit im Sinne von Kosten-Nutzen-Relation und Folgenabschätzung

Tafel 6.3.11. Bestandteile der Projektdokumentation

Arten	Dokumentationsnutzer			
	Hersteller			Betreiber (Kunde)
	Fertigung/Montage	Inbetriebsetzung	Service	
Projektunabhängige Standardunterlagen		×	×	×
Projektabhängige Unterlagen		×	×	×
Bestell-, Fertigungs-, Prüfunterlagen	×	(×)	(×)	(×)
Inbetriebsetzungs-, Serviceunterlagen		×	×	×

× Anteil wird vollständig benötigt; (×) Anteil wird nur teilweise verwendet

- hierarchischer Aufbau bei gleichmäßig guter Lesbarkeit und Handhabbarkeit auf allen Ebenen (Plänehierarchie [6.38])
- Änderungsfreundlichkeit durch Anwenden des „Autoatlasprinzips" (Änderungen sollen sich höchstens noch in der übergeordneten Unterlagenebene auswirken)
- Formatbeschränkung (z. B. maximal A3)
- rechtzeitige Bereitstellung
- Anwenden einer sinnfälligen Bezeichnungssystematik sowie von Ausführungsvorschriften (vgl. Abschn. 6.3.4.2.).

Somit ist die Projektdokumentation eine nicht zu unterschätzende qualitätsbestimmende Komponente der projektierten Prozeßsteuerung. Zwischen VP- und SP-Geräten bestehen bezüglich der Hardware-Dokumentation keine grundsätzlichen Unterschiede. Durch Einführung der SPS kommen zwei neue Kategorien – die Programm- und die Querverweisdokumentation (Verbindung Hardware-Software) – hinzu.

6.4.2. Bezeichnungssystematik

Die durchgängige Anwendung einer einheitlichen Bezeichnungssystematik macht den beabsichtigten Anlagenaufbau – streng gegliedert nach technologischen Funktionsgruppen (vgl. Abschnitte 5., 6.2.1.) – durchsichtig und erleichtert dadurch sowohl in der konkreten Anlage als auch in der ihr eigenen Dokumentation die Orientierung. Definitionsgemäß adressiert eine Bezeichnung Anlagenkomponenten, Anschlußpunkte und Einbauteile innerhalb dieser Komponenten oder Leitungen zu bzw. zwischen diesen Einrichtungen. Für ihre praktikable Konstruktion sind unter Berücksichtigung gültiger Standards (z. B. TGL 16082/01 und 02) ebenfalls bestimmte Prinzipien zu beachten:

- einfache Bildungsgesetze
- Beschränkung/Festlegung von Zeichenart sowie Zeichenanzahl (und damit der Schildergröße)
- Trennbarkeit in projektunabhängige Typ- und projektabhängig technologisch-funktionelle Ergänzungsbezeichnungen (zum Berücksichtigen technologiespezifischer Angaben)
- Ortskennzeichnung mit räumlicher Sinnfälligkeit (Nutzen von Lagekoordinaten mit definierten Zählrichtungen).

Ausführungsbeispiele für einzelne Betrachtungsebenen sind in Tafel 6.3.12 zusammengestellt. Sie können bei Bedarf gefügt werden, wobei die Zeichen unterschiedlicher Ebenen sichtbar (durch einen Doppelpunkt) zu trennen sind. Betrachtungsebenen innerhalb eines Gefäßes können nicht nur Baugruppen und -einsätze, sondern auch Anschlußelemente (Schrankanschlußleiste, Stromschienen für Bezugs- oder Schirmleiter o. ä.) sein.

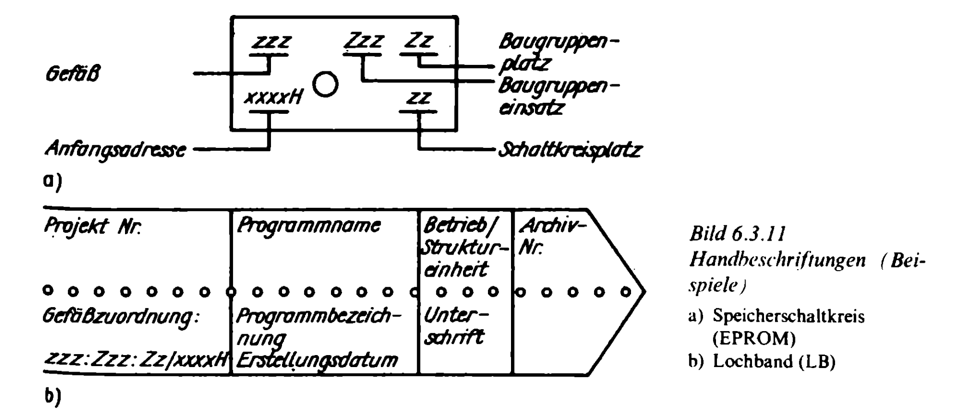


Bild 6.3.11
Handbeschriftungen (Beispiele)
a) Speicherschaltkreis (EPROM)
b) Lochband (LB)

Tafel 6.3.12. Anwendungsbeispiele einer Bezeichnungssystematik

Schrankkennzeichnung

```
Z Z    z z z z  –  z z z
│      │ │ │ │        └────── projektabhängiges Nachkennzeichen (Schrankbezeich-
│      │ │ │ │                nungsschild, separat zusammen mit ZZ verwendbar)
│      │ │ │ └─────────────── Aufstellungsbedingungen  ┐
│      │ │ └───────────────── Sockel                   │ Werk-
│      │ └─────────────────── Meßgeräteaufsatz         │ kennzeichen
│      └───────────────────── Schranktiefe T           ┘
├──────────────────────────── Benennungszeichen
└──────────────────────────── Typbezeichnung (projektunabhängig, HUL-Schild)
```

Beispiele:

SA 1213-031	Automatikschrank, $T = 400$ mm, ohne Meßgeräteaufsatz, mit Sockel, Reihenaufstellung rechts außen
SA 031	Schrank für Kühlbettsteuerung

Funktionsgruppenkennzeichnung (Einbauteile)

```
Z Z   z z ┐
│ │       └──── Zählnummer 1 ... n
│ └──────────── Ortscodierung
└────────────── Funktionsgruppenkennzeichnung
```

Beispiel:

A 17	Baugruppeneinsatz Nr. 7 auf dem Schwenkrahmen 1

Kennzeichnung von Anschlußpunkten, Geräten, Bauelementen

```
Z zz  zz  zz: Z z ┐
│     │   │       └──── Anschlußstift
│     │   └──────────── lfd. Nr. des Bauelementes
│     └──────────────── lfd. Nr. des Bauteils, Geräts, der Baugruppen
└────────────────────── Funktionsgruppenkennzeichnung
```

Beispiel:

X 1714.4: A3	Anschlußstift A3 an Stecker X4 der Baugruppe 14 im Einsatz A17

Beispiel für die Veränderung der Bezeichnung in Abhängigkeit der Betrachtungsebene

Betrachtungsebene	Kennzeichen
Schrank	X 1714.4: A3
Baugruppeneinsatz	X 14.4: A3
Baugruppe	X 4: A3
Steckverbinder	A3

Komplette Bezeichnung SA 1213-031:X 1714.4:A3

Kabelkennzeichnung

```
XX  xx  xxx ┐
│   │       └──── Zähl-Nr.
│   └──────────── Kabelabschnitt 1. Ziffer: codierter Anfangsort
│                                2. Ziffer: codierter Zielort
└──────────────── Kabelart
```

Beispiel:

SK 05003	Steuerkabel im Abschnitt IV-Schrank (0) – Schaltanlage (5)

Derart gebildete Kennzeichen müssen selbstverständlich in der ausgeführten Anlage auffindbar sein, um den Bezug zur Dokumentation zu erhalten. Dazu dienen die verschiedensten Schilderarten (Blech, Decelith, Papier), Siebdrucke, Stempelaufdrucke und Handbeschriftungen. Das Markieren der Komponenten nach diesen verschiedenen Möglichkeiten erfolgt bei den Schildern nach sog. Schilderlisten, bei allen weiteren Arten nach konstruktiven und technologischen Unterlagen, wobei alle zur Fertigungsdokumentation gehören. Vorschläge für Handbeschriftungen von Speicherschaltkreisen und Datenträgern (LB) zeigt Bild 6.3.11.

6.4.3. Hardware-Dokumentation

Ausgehend von Tafel 6.3.11 erfolgt eine Detaillierung der darin aufgeführten Anteile:

- *Projektunabhängige Standardunterlagen* umfassen beschreibende Unterlagen für typisierte Erzeugniskomponenten (Schränke, Geräte, Baugruppen u. ä., z. B. Kennblätter, Beschreibungen, technische Erläuterungen) sowie Unterlagen allgemeiner projektneutraler Bedeutung (z. B. Systemübersicht, Prinzipien zur Anlagengestaltung, Verkabelungsrichtlinien)
- *projektabhängige Unterlagen* beinhalten die formalisierte Aufgabenstellung, ergänzende technische Erläuterungen zum Gesamtprojekt u. ä.
- zu *Bestell-, Fertigungs-, Prüf- und Montageunterlagen* gehören Bedarfsmeldung, Ausrüstungslisten, Stromlaufpläne, Belegungspläne, Schilderlisten, spezielle Prüfhinweise, Aufstellungspläne, Anschlußlisten, Montagevorschriften
- *Inbetriebsetzungs-/Serviceunterlagen* sind Bestandteil von Behandlungsvorschriften (Inbetriebsetzungs-, Bedien-, Wartungs-, Diagnosevorschriften).

Bei den zuletzt genannten beiden Kategorien ist ebenfalls zwischen aufgabeninvarianten (Systemteile) und projektspezifischen Anteilen zu differenzieren.

6.4.4. Software-Dokumentation

Mit Einführung der SP-Technik erhalten die Dokumentationsunterlagen nach Tafel 6.3.11 Software-Komponenten. Neben den reinen Programmbeschreibungen, die sich ebenfalls in projektneutrale (Betriebssystem) und anwendungsbezogene (Anwenderprogramme) Bestandteile aufgliedern, kommen als neue beschreibende Anteile die sog. Querverweisdokumentation zur Hardware [6.117] (vgl. Bild 6.3.8; Tafel 6.3.8) und maschinenlesbare Datenträger als Fertigungsunterlage zum Implementieren der Software hinzu. Ihre Qualität insgesamt ist mehr denn je notwendige Voraussetzung für die Programmanwendung. Inhaltlich besteht summarisch die Analogie zu Datenblatt, Behandlungsvorschrift und technischer Erläuterung der Gerätetechnik.

Bei der Programmdokumentation ist zwischen externer und interner Dokumentation zu unterscheiden [6.97], wobei sich die zuerst genannte Komponente vorzugsweise an den Programmnutzer und an die Software-Pflege/-Wartung richtet. Sie soll über folgende Sachverhalte Auskunft geben:

- Programmname (beschreibender Titel)
- Erläuterung der Aufgabe (z. B. PAP), also die Identität mit der formalisierten Aufgabenstellung
- Angaben zur Hardware-Konfiguration (Tabelle der logischen Geräte, Zeitwerke, Speicherkartenbelegung u. a.) und zum Betriebssystem
- Beschreibung der Ein- und Ausgaben (E/A-Listen, Querverweis zur Hardware und zum technologischen Prozeß)
- Erläuterung der Meldungen, die vom Programm ausgegeben werden (z. B. Fehlermeldungen)
- Leistungsmerkmale, -grenzen,
- Referenzen, Kontaktpersonen für Störungsfälle
- Fehlersuch- und -beseitigungsmöglichkeiten
- Erweiterungs- und Änderungsmöglichkeiten (Anwendungserweiterung).

Die interne Programmdokumentation informiert ergänzend über weitere Details:

- Programmkopf
  - Programmname (beschreibender Titel)
  - Name des Projektanten bzw. Programmierers
  - Datum, Version
  - Programmbeschreibung (z. B. PAP)
  - Bedeutung der Konstanten und Variablen (E/A-Liste, Merkerliste u. ä.)
- Programmrumpf
  - Programmliste (Anweisungen, ggf. mit Kommentar, Korrespondenz zur formalisierten Aufgabenstellung)
  - maschinenlesbarer Datenträger.

Eine Reihe der aufgezählten Unterlagen der zwei Komplexe stimmt natürlich überein.

6.5. Konstruktiv-technologische Bearbeitung

Dem allgemein bestehenden, volkswirtschaftlich bedeutsamen Ziel — den Vorbereitungsaufwand für die Fertigung zu senken — dient auch das Minimieren konstruktiv-technologischer Leistungen innerhalb der objektbezogenen Vorbereitungsphase. Das bedeutet, daß die projektabhängigen Unterlagen für die elektrotechnische Ausrüstung zusammen mit den aufgabeninvarianten Systemunterlagen möglichst ohne weitere Bearbeitung direkt zur Fertigung der Einrichtungen (Gefäße) verwendet werden sollen. Die entscheidende Vorleistung muß demnach im Bereich der Entwicklung liegen. Dort werden alle Vorgaben erarbeitet, die in Verbindung mit den Systemunterlagen durch die Projektierungsvorschriften (vgl. Abschn. 6.3.4.2.) in die Projektdokumentation eingehen. Schwerpunkte sind solche Probleme, wie Geräteeinbau, Verlustwärmeabfuhr u. ä. (vgl. Abschn. 5.1.2.), und das Einhalten der Restriktionen infolge einer existierenden Fertigungstechnologie. Sie drücken sich in zu beachtenden Einbau- und Aufstellungsvorschriften aus. Zum Beispiel bestimmt die Aufstellungsart der Schränke (Reihen- oder Einzelaufstellung) entscheidend die Höhe der abführbaren Verlustleistung (Reduktion bei Reihenaufstellung bis etwa 50%). Für Modifikationen von Gefäßtypenlösungen ($P_{V_{max}}$ = const.) im Zuge der Projektbearbeitung kann, bezogen auf die verfügbare Schrankoberfläche, mit folgendem spezifischem Richtwert gerechnet werden [6.102]: $P_V \approx 4\ W/(m^2 \cdot K)$.

In der Hauptsache beschränken sich konstruktiv-technologische Leistungen (vgl. Bild 6.1.1, Block *11*) auf

- die auftragsbezogene Gestaltung von Service- und Bedieneinrichtungen
- die Gefäßprojektierung.

Unter Gefäßprojektierung ist die Anpassung der konstruktiven Ausführung an die Gegebenheiten des Einsatzortes zu verstehen.

7. Realisierung von Prozeßsteuerungen

Die folgenden Ausführungen befassen sich mit der Vergegenständlichung des Projektierungsergebnisses, also mit dem im Bild 6.1.1 als Realisierungsphase gekennzeichneten Abschnitt (Operationen *12* bis *18*). Schwerpunkte sind in der unterlagengetreuen Fertigung und Montage hoher Qualität sowie in einer effizienten Inbetriebsetzung der Anlage zu erkennen. An ausgewählten Stellen des Gesamtablaufs zwingen weiterhin Kontrollen zum Vergleichen mit der Aufgabenstellung.

Bemerkungen zur Gesamtprojektabwicklung sowie zu Ansatzpunkten für eine weitere Verbesserung der technischen bzw. technologischen Vorbereitung insgesamt beschließen diesen Teilkomplex.

7.1. Fertigung

Dieser Prozeßabschnitt (vgl. Bild 6.1.1, Block *12*) umschließt die Technologie der staionären Fertigung und die Prüfung.

7.1.1. Technologie

Insgesamt kann die stationäre Fertigung von Prozeßsteuerungen als ein Fügeprozeß aufgefaßt werden, in dessen Verlauf (i. allg. vorgefertigte) Funktionsgruppen und andere Bausteine/Baugruppen in einem Gefäß (Schrank, Kasten, Pult) montiert, verbunden und funktionsgeprüft werden. Das Vorfertigen von projektinvarianten Funktionsgruppen als Systemteile ist schon bei geringen Produktionszahlen kostengünstig und zweckmäßig, weil dadurch eine Optimierung von Fertigungslinien bzw. Arbeitsplätzen erreichbar ist. Ein leistungsfähiger Produktionsprozeß kann sich in folgende Fertigungslinien gliedern:

a) mechanische Vorfertigung (Herstellung von mechanischen Einzel- und Einbauteilen aus Schwarzmetall, Hartpapier, Plast, NE-Metall u. ä.)
b) Oberflächenveredelung (Lackieren oder Galvanisieren von mechanischen Teilen)
c) stationäre Montage (Bau von Schränken, Pulten, Kästen, elektronischen Baugruppen u. ä. mit kompletter Bestückung, Verdrahtung usw.).

Die Produktionsabschnitte a), b) sind demnach eine verfahrensspezialisierte Fertigung, während c) gegenstandsspezialisiert ist. Eine solche Unterteilung gestattet den effektiven Einsatz von (Halb-) Automaten (z. B. zur Verdrahtung), Handhabungsgeräten (z. B. in der Lackiererei) und Montagerobotern, und trotz vielfältiger Objektabhängigkeit der Lösungen lassen sich dadurch immer die vorteilhaften Prinzipien der Serienfertigung anwenden.

Der Durchlauf des Erzeugnisses „Prozeßsteuerung" durch die stationäre Fertigung (Bild 7.1.1) offenbart, daß keine prinzipiellen Unterschiede zwischen VPS und SPS bestehen. Lediglich das neue Produkt „Software" bringt eine Modifikation, der Verdrahtungsaufwand reduziert sich zugunsten der Arbeitsschritte Software-Implementieren und -Prüfen. Sämtliche Aktivitäten werden durch geeignete platzbezogene Arbeitsunterweisungen (AUW) gestützt, in denen selbstverständlich der innerbetriebliche Transport seine Berücksichtigung findet. Dominierender Grundsatz sollte besonders bei allen Verbindungsaufgaben sein, die Integration von Fertigung und

Prüfung z. B. durch den Einsatz von Verdrahtungshalb- oder -vollautomaten zu erreichen. Eine Verbindung bzw. ein Anschluß kommt mit derartigen programmierbaren Werkzeugen nur dann zustande, wenn der Draht an den richtigen Punkt geführt wird [7.1]. Sie beherrschen vorzugsweise den Bereich der VPS.

Entscheidende Unterschiede zwischen VP- und SP-Fertigung liegen in den Blöcken *1* bis *5*. Im Bereich der Endmontage geht der Verdrahtungsanteil zurück, qualitativ und quantitativ neue Arbeitsgänge resultieren aus dem Implementieren der Software in die zugehörigen Speicherschaltkreise sowie ihrer weiteren Behandlung. Daraus folgen natürlich — abgesehen von der Prüfgerätetechnik — veränderte Arbeitsplätze und -mittel (z. B. Programmiergeräte [7.2]).

Nicht dargestellt sind in dem Durchlaufschema, Bild 7.1.1, die überall vorhandenen Kontrollschritte, die, finden sie entscheidende Mängel, nicht nur zur Reparatur, sondern sogar zur Rück-

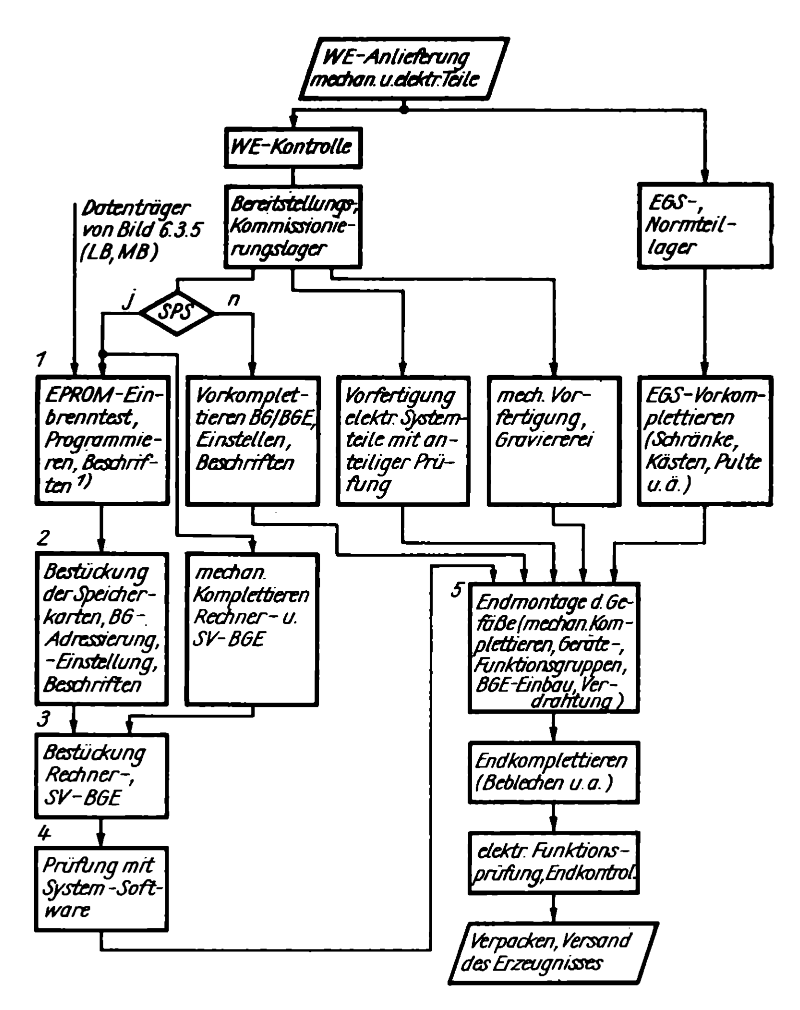


Bild 7.1.1. Technologischer Durchlauf von Erzeugnissen für Prozeßsteuerungen

1) Kennzeichnung vgl. Bild 6.3.11

gabe des Zulieferteils an den Produzenten führen können. Hervorzuheben unter diesen qualitätssichernden Maßnahmen ist der Einbrenntest für Speicherschaltkreise [7.4) sowie die abschließende Prüfsummenbildung.

Darüber hinaus müssen speziell für diese Bauelemente geeignete Behandlungsvorschriften eingehalten werden, um über große Zeiträume die Kontaktzuverlässigkeit (Nutzen von Bestückungs- und Entstückungswerkzeugen sowie von Adapterfassungen während der Inbetriebsetzung) und den Datenerhalt (Schutz von Fluoreszens- und Sonnenlicht [7.29] [7.30]) zu gewährleisten.

7.1.2. Prüfung

7.1.2.1. Funktionsprüfung

Auch für den Prozeßabschnitt „Prüfung" (vgl. Bild 7.1.1) existieren keine grundsätzlichen Unterschiede zwischen VPS und SPS. Seine Hauptaufgabe, den Nachweis der unterlagengetreuen und qualitätsgerechten Fertigung im Sinne der Aufgabenstellung unter Beachtung der bestehenden betrieblichen Vorschriften, Gutachten sowie gültiger Standards (z. B. TGL 200-0645) zu erbringen [7.3] [7.33], wird durch eine prüfungsfreundliche Erzeugnis- und Unterlagengestaltung erleichtert. Wesentliche Gesichtspunkte, die Entwicklung und Projektierung dabei zu beachten haben, sollen an dieser Stelle noch einmal zusammengefaßt werden:

- Gewährleistung eines hohen Vorprüfbarkeitsanteils, in dem Enderzeugnisse (Schränke, Pulte) weitgehend aus funktionell und konstruktiv abgeschlossenen Einheiten gefügt werden
- optimaler Einsatz von typisierten Bau-/Funktionsgruppen
- Verbindung dieser Einheiten möglichst über Steckverbindungen
- sinnvolles Anordnen von Prüf- und Abgleichpunkten mit geeigneter Bezeichnung und guter Zugänglichkeit
- Verwenden gleicher Anschlüsse und Anschlußbezeichnungen für gleiche Funktionen, Adaptierbarkeit von Anschlüssen
- Berücksichtigung der vorhandenen Prüftechnologien und -einrichtungen
- Erarbeiten von Prüfhinweisen mit Einstellwerten, Funktionsabläufen (PAP u. a.), Prüfschrittfolgen in Verbindung mit der Erläuterung der technologischen Aufgaben.

Über alternative strategische Varianten in Abhängigkeit vom Produktionsvolumen bzw. von ihrer schrittweisen Einführung (z. B. bei gestaffelter Bereitstellung der nötigen Investitionsmittel) informiert Tafel 7.1.1. Allen Etappen ist der Verzicht auf eine elektrisch-funktionelle Wareneingangskontrolle gemeinsam, da eine umfassende Funktionsprüfung in Verbindung mit einer erweiterten visuellen Stückprüfung beim Wareneingang (vgl. Bild 7.1.1) durchgeführt wird und weil beim Lieferanten diese Erzeugnisse ohnehin bereits einer umfassenden Prüfung nach zwischen den Partnern zu vereinbarenden Kriterien (Abnahmebedingungen) unter Einschluß des Abfangens der Frühausfallphase unterzogen werden. Eine Abweichung von dieser Verabredung ist im Fall einer eigenen Fertigungslinie für elektronische Baugruppen und ebenso bei Speicherschaltkreisen zu empfehlen, da eine Eingangsprüfung in Verbindung mit einer Vorbehandlung (screening) ausgewählter Bauelemente (vorzugsweise Schaltkreise, z. B. Einbrenntest nach Abschn. 7.1.1.) zum Senken der Herstellungskosten und zur Verbesserung der Zuverlässigkeitskennwerte führt [7.4] [7.5] [7.31] [7.32].

Bei der exemplarischen Fertigungsprüfung lassen sich folgende Kategorien unterscheiden:

- Vorprüfungen (stichprobenweiser Nachweis des Isoliervermögens, Prüfung der Spannungsfestigkeit, Funktionsprüfung von Grundausrüstungen u. ä.)
- Funktionsprüfung selbständig vorgefertigter Einbauteile (Baugruppe, Rechner-, Stromversorgungseinsätze u. ä.)
- Erzeugnis-(Schrank-/Gefäß-)Endprüfung (ggf. Komplextest mit der Software bei SPS) einschl. gesonderter Kontrolle der Leitungsverlegung und Funktionsdauerlauf mit Zuverlässigkeitsnachweis

Tafel 7.1.1. Alternative Prüfstrategien

Variante	Produktionsvolumen	Prüfumfang			Prüfmethode	Prüfgeräte	Konsequenz
		Hardware	Software[1])	Komplex			
I	gering	keine WE von Einbauteilen, Endprüfung	teilimplementierte Software, SS-Test ohne AP	kein Komplextest; Ausnahme: typisierte Erzeugnisse	manuell	konventionelle Geräte, elementare Prozeßsimulation (Tasten, Lampen usw.)	Komplextest während der Inbetriebsetzung; Software-Lieferform: SS-EPROM AP-MB, LB
II	mittel	wie Variante I	vollständig implementierte Software, SS-Test mit Standardprogramm und Generierdaten	wie Variante I	halbautomatisch (rechnergestützt), manuell	konventionelle Geräte Prüfrechner I	wie Variante I
III	groß (bzw. hoher Schwierigkeitsgrad)	wie Variante I	vollständig implementierte Software, Test SS + AP	komplexer Echtzeittest mit Original-Hardware	weitgehend automatisch (manuell)	umfangreiche Prozeßsimulation, Prüfrechner II, konventionelle Geräte	Lieferung max. vorgeprüfter Anlagen, Reduzierung Inbetriebsetzungsaufwand

[1]) Vorangegangen ist der Test im „Software-Prüffeld" (vgl. Abschn. 6.3.2.3., Bild 6.3.5).
AP Anwenderprogramm; SS System-Software

— Funktionsprüfung zwar zugelieferter, aber selbständiger Service- und Peripherieeinrichtungen (z. B. Rechnerdatenperipherie, Programmiergeräte, Baugruppenprüfgeräte u. ä.)
— ggf. Tests zum Abfangen der Frühausfallphase für problemorientierte Baugruppen aus Eigenfertigung sowie selbst für Endprodukte/Schränke (etwa durch Temperaturwechsel- bzw. Dauerprüfung) [7.5] [7.6] [7.33].

Der Nachweis von thermischer, mechanischer, Kurzschluß- und Korrosionsfestigkeit sowie von Schutzgrad und -güte wird nicht wiederholt, da er im Rahmen der Entwicklung als Typprüfung einmalig an einer festgelegten Anzahl von Prüflingen vorgenommen wurde.

Bedingung für den erfolgreichen und kostengünstigen Prüfvorgang sind dem Qualifikationsniveau des Prüffeldpersonals angepaßte zeit- und energieoptimal arbeitende Prüfhilfsmittel. Das Streben nach Automation auch an dieser Stelle ist unverkennbar.

7.1.2.2. Prüfmittel

Neben dem Grundbestand konventioneller Prüfmittel eines Prüffeldes werden für den Test von Erzeugnissen zur Realisierung von Prozeßsteuerungen folgende Prüfmittel benötigt:

— Logikprüfstifte
— Trenn- und Meßadapter für E/A-Module (wählbarer Signalpegel, Simulationsmöglichkeiten, Statusanzeige)
— Prüfrechner zur Funktionsprüfung (i. allg. Halbautomaten) [7.7] [7.8] [7.33]

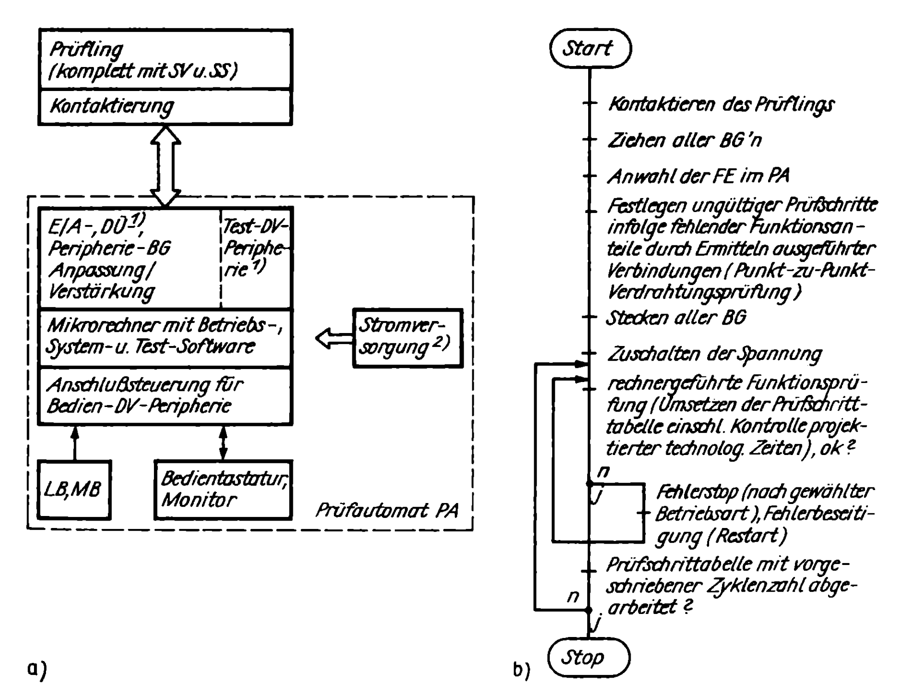


Bild 7.1.2. Fertigungsprüfung

a) Prüfautomat (PA) für VPS und SPS (Prinzip); *SS* System-Software
[1]) nur bei SPS erforderlich; [2]) ggf. mit Akku-Modul zur Speicherung von Programmen und Daten bei Netzausfall ($\leqq$4 h)

b) Prüfablauf FE ursalog 4000

— Einrichtungen zur anteiligen oder umfassenden Prozeßsimulation
— Baugruppenprüfgeräte
— Adaptiereinrichtungen.

Gesichtspunkte zur Gestaltung sowie zum Prüfinhalt des zentralen Prüfinstruments — des Prüfautomaten — werden nachfolgend beispielhaft für die Prüfung von Funktionseinheiten (FE) des VP-Systems ursalog 4000 [7.9] (vgl. Abschn. 4.2.3.) und an der Prüfung eines Schrankes zur Aufnahme einer SP-Einrichtung erläutert. Die Prüflingsstruktur (Hardware) und die zeitlich zu organisierenden Anschlußbedingungen fordern von der Prüfeinrichtung Leistungen, die vernünftig nur durch Einsatz eines Mikrorechners erzielbar sind. Den Prinzipaufbau eines solchen vom Nutzer keine Rechnerkenntnisse verlangenden Geräts zeigt Bild 7.1.2a.

Prüfautomat FE ursalog 4000 (FE Teil eines Schrankes):

— Festlegen des FE-Umfangs (z. B. Ein-Richtungs-, Zwei-Richtungs-Antriebsvarianten u. a.) und der Betriebsarten (Automatik mit vorwählbarer Zyklenzahl, Fehlerstopp, Schrittbetrieb, Prüfschrittvorwahl u. ä.)
— logische Prüfung durch Zurückführen der Funktion auf die Ein-/Ausgabe von Systemsignalen (gemäß erforderlicher E/A-Anzahl)
— Erarbeiten eines Prüfprogramms zum Erfüllen des oben angeführten Ziels (Trennung in einen invarianten Anteil — gespeichert im EPROM — und in einen FE-variablen Anteil — gespeichert auf Loch- oder Mangetband)
— Anzeigen, Bewerten und ggf. Speichern der Prüfergebnisse/-schritte (Ausgabe vom Prüfling, Eingaben für den Rechner) und der simulierten Eingangssignale für die Funktionseinheit (Ausgabe des Automaten) auf einem Bildschirm
— Vorgabe der bildschirmgeführten Handlungsvorschriften (Umsetzen der Prüfschrittabelle, vgl. Bild 7.1.2b), tastaturgesteuerte Anwahl der Prüflingsstruktur.

Prüfautomat Schrank für SP-Einrichtung:

— Festlegen des Prüfungsumfangs (kompletter Schrank mit SPS, Betriebssystem mit oder ohne Anwenderprogramm)
— zur SPS kompatibles Hardware-Konzept (variable E/A- und DV-Peripherie zur Bedienung und Anzeige sowie zur Simulation an den im Prüfling enthaltenen Anschlußsteuerungen)
— der SPS entsprechendes Software-Konzept mit zusätzlichen, auch vom Automaten auf den Prüfling überspielbaren Programmen (Prüfung von E/A-Kanälen einschl. der Datenübertragung, der Zentraleinheit mit den DV-Peripherie-Anschlußsteuerungen, der System-Software unter Nutzung der im Betriebssystem der SPS vorhandenen Eigentestprogramme, Diagnose mit Fehlersuchstrategie zum Ermitteln defekter Baugruppen aller Art u. ä.), Trennen in prüflingsinvarianten und -variablen Teil, Hilfsprogramme zum Testen und Überwachen weiterer Schrankfunktionen
— Anwahl der variablen Prüflingsstruktur über eine Tastatur, bewertete Bildschirmanzeige sowie Speichern des Prüfergebnisses
— Vorgabe der Handlungsvorschrift (Umsetzen der Prüfschrittabelle in Analogie zu Bild 7.1.2b).

Grundsätzlich neu erscheint im Sortiment der Prüfgeräte der für eine Fehlersuche in SPS unentbehrliche Logikanalysator. Er ermöglicht den Komplextest von Hardware und Software gleichzeitig auf einer Vielzahl von Kanälen (≤ 48). Mit den von ihm ausführbaren Meßaufgaben ist er den Alternativen, Mikrorechnerentwicklungssystem und Oszilloskop, deutlich überlegen [7.10].

7.2. Montage

Im Prozeßabschnitt „Montage“ (Bild 6.1.1, Block *14*) wird die Prozeßsteuerungsanlage auf der Baustelle (Standort beim künftigen Betreiber) installiert. Er umfaßt alle Arbeiten von der Ankunft der Erzeugnisse bis hin zur Aufstellung und Verkabelung der Anlagenteile. Die Beendigung dieses

Leistungsabschnitts bildet die Voraussetzung für eine rationelle Inbetriebsetzung. Auch in diesem Bereich sind die Anforderungen bezüglich Ausführungszeit und Qualität gestiegen, um keine Lücke bzw. Schwachstelle in der Gesamtkette zuzulassen. Diesem Anliegen trägt die Dreiteilung der Anlagenmontage Rechnung.

Die *Aufbauplanung* ist immanenter Bestandteil der Projektierungsphase und drückt sich in Unterlagen aus, die im Ergebnis der Aktivitäten 8.1.4, 8.1.8, 8.1.9, 8.2.5 nach den Bildern 6.3.2 bzw. 6.3.4 entstehen. Bereits dabei werden wichtige montage- (und inbetriebsetzungs-)erleichternde Bedingungen erfüllt, z. B.

— die bequeme Zugänglichkeit
— das Bereitstellen von Platzreserven in den Gefäßen, um ggf. Nachrüsten zu können
— das Einhalten spezifischer Normen (etwa bezüglich Kabelfarben und -mindestquerschnitten).

Die *Ablaufplanung* schaft die Voraussetzungen für eine sorgfältige und reibungslose Montageausführung. Sie ist ein Schwerpunkt in der gesamten Projektplanung und -abwicklung (Netzplan, vgl. Abschnitte 6.2.1., 7.5.). Neben der terminlichen Fixierung (in Zusammenarbeit mit Hauptauftragnehmer oder Betreiber) unter Beachtung von vertraglich gebundenen Eckterminen sind das erforderliche Personal zu bilanzieren sowie die benötigte Baustelleneinrichtung zu disponieren. Das schließt (besonders bei Auslandsbaustellen) die sorgfältige Auswahl von Mitarbeitern (nach fachlichen, handwerklichen und psychologischen Fertigkeiten, nach Sprachkenntnissen und Gesundheitszustand, nach ihrem Selbständigkeitsgrad), ihre gründliche Vorbereitung sowie die Klarstellung formeller Belange (Reiseformalitäten, kurzfristige Material- und Arbeitsmittelnachlieferung u. ä.) ein. Unterlagen sind ausreichend bereitzustellen (mindestens zwei Sätze), außerdem sind die vollständige und eindeutige Beschriftung der Verpackung der zu montierenden Teile sowie die richtige Reihenfolge ihrer Anlieferung zu gewährleisten. Die Mitwirkung des künftigen Betriebspersonals sollte bereits von diesem Zeitpunkt an vorgesehen werden.

Beim grenzüberschreitenden Verkehr mit SPS sind für die Software geeignete Datenträger und Transportmittel auszuwählen. Untersuchungen zeigen, daß EPROMs gegenüber den üblichen Röntgenverfahren unempfindlich sind. Magnetbänder (MB) und Disketten können dagegen Schwierigkeiten bringen und verlangen ggf. ein Auffrischen auf der Baustelle.

In der eigentlichen *Ausführungsphase*, die erst nach Abschluß von Bau und mechanischer Montage liegen sollte, wird die Anlage unterlagengetreu errichtet. Die Maßregeln

— zur Aufstellung der Gefäße (Wand-, Rücken- an Rücken-, Reihenaufstellung)
— zur Befestigung der Gefäße (Spreizanker, Steinschrauben, Anschweißen)
— zur Verkabelung

Tafel 7.2.1. Wichtige, bei der Montage zu beachtende Vorschriften

3. DB (Schutzgüte) zur ASVO. GBl. Teil I Nr. 6 v. 24. 1. 1980	
ABAO 17/2	Allgemeine Bestimmungen für Transport und Lagerung
TGL 30270	Gesundheits- und Arbeitsschutz, Brandschutz; Schweißen, Schneiden und ähnliche Verfahren
TGL 30350	Gesundheits- und Arbeitsschutz; Hebezeuge
TGL 7783	Anschlußstellen für Schutzleiter
TGL 21366	Elektrotechnik, Elektronik; Schutzklassen; Einteilung und Kennzeichnung elektrotechnischer Betriebsmittel
TGL 8788	Brandschutz für Elektroenergieanlagen
TGL 28566	Verdrahtungstechnik; Wickelverbindungen; Technische Forderungen
TGL 32991	Automatisierungsanlagen
TGL 200-0601/03	Elektrotechnische Anlagen; Allgemeine Errichtungsvorschriften; Starkstromanlagen mit Nennspannungen bis 1000 V WS oder bis 1500 V GS
TGL 200-0602	Schutzmaßnahmen in elektrotechnischen Anlagen
TGL 200-0603	Erdung in elektrotechnischen Anlagen
TGL 200-0605	Kreuzungen und Näherungen zwischen Informations- und Starkstromanlagen
TGL 200-0612	Kabel in elektrotechnischen Anlagen

sind unter Beachtung der entsprechenden Gesundheits-, Arbeits-, Brandschutzvorschriften sowie sonstiger Standards und spezifischer Anweisungen (technologische Vorschriften) einzuhalten (Tafel 7.2.1). Neben der Monteurgrundausrüstung müssen geeignete Betriebs- und Arbeitsmittel (Transport-, Hubgeräte, Schweißeinrichtungen, Bohrmaschinen, Verbindungs- und Abisolierwerkzeuge u. ä.) sowie andere Hilfsmittel (Lackfarben, Pinsel, Rundhölzer, verschiedene Stähle und Drähte) und Kleinmaterial (Schrauben, Muttern, Lötzinn, Dichtungsmaterial) zur Verfügung stehen. Die gesamte Baustelleneinrichtung, zu der auch transportable Container für Lager-,

Tafel 7.3.1. Instrumentarium für die Inbetriebsetzung (IB)

a) Wichtige gesetzliche Grundlagen (vgl. auch Tafel 7.2.1)

ABAO 20/1	Erste Hilfe und Verhalten bei Unfällen
ABAO 900/1	Elektrotechnische Anlagen
TGL 200-0601	Allgemeine Errichtungsvorschriften für elektrotechnische Anlagen Informationsanlagen Kennzeichnen von Gefahrenstellen, Anbringen von Aushängen
TGL 200-0618	Elektrotechnische Anlagen; Inbetriebsetzungsprüfungen
TGL 200-0619	Sicherheitstechnische Forderungen für Starkstromanlagen
TGL 200-1080	Warnschilder

b) Wichtige Unterlagen (vgl. Abschnitt 6.4. und Tafel 6.3.17), insbesondere aber
- Behandlungsvorschriften
- Inbetriebsetzungsvorschriften (-hinweise)
- Servicehinweise (Diagnosevorschriften/Fehlersuchanleitungen)
- abgestimmtes Inbetriebsetzungsprogramm

c) Wichtige Einrichtungen

VPS	SPS
allgemeine Arbeitsmittel (vgl. Tafel 7.2.1) Vielfachmeßgeräte, diverse Laborschnüre Isolationsprüfgeräte Widerstandsmeßbrücken Spannungs-, Durchgangsprüfer Stoppuhr Logiktester (-stifte) Baugruppenprüfplätze/-geräte Kommunikationsmittel (Wechselsprechanlage, Walkie/Talkie) Oszillographen Signalgeneratoren Adapterbaugruppen und Kabel	} für VPS und SPS
problemorientierte Servicebaugruppen (z. B. Nachbildungen von Ein- und Zwei-Richtungs-Antrieben, Meldebaugruppen) Programmierstecker (zur Signalsimulation)	Programmiergeräte Bedien-/Servicegeräte SPS-immanente Servicebaugruppen (Kontrollmodul vgl. Abschn. 4.3.5.) spezielle Inbetriebsetzungsbaugruppen (z. B. VE 11 aus ursalog 5010, vgl. Abschn. 4.3.4.) Adapter- und Brückenbaugruppen DV-Peripherie (je nach Datenträger) Empfangsfernschreiber Logikanalysatoren

Werkstatt-, Aufenthalts- und/oder Bürozwecke gehören können, sowie der geplante technologische Ablauf haben den Forderungen
- an die Transport- und Lagerbedingungen
- bezüglich der Räumlichkeiten
- an die Kabelanschluß- und Verlegemöglichkeiten (Kabelkanäle, mechanischer Schutz bei gefährdeten Kabelführungen)
- nach Schutzgüte und Korrosionsschutz

Rechnung zu tragen.

7.3. Inbetriebsetzung

Der Montage folgt die Inbetriebsetzung (Bild 6.1.1, Block *15*). Mit ihrem positiven Abschluß wird die Übereinstimmung mit der vorgegebenen Aufgabenstellung hergestellt, ggf. ist in dem dazu erforderlichen Komplextest der optimierten Prozeßsteuerung mit der technologischen Anlage (Steuerstrecke) eine bestimmte Verfügbarkeit über einen definierten Zeitraum nachzuweisen. Außerdem liegen aktualisierte, revidierte Unterlagen (Block *17*) für Betreiber und Hersteller vor, die für die Wiederverwendung zugriffsfähig zu archivieren (speichern) sind.

Über die zur Inbetriebsetzung erforderlichen methodischen Hilfsmittel, Informationen und Einrichtungen informiert Tafel 7.3.1, wobei natürlich der aus der Montage bekannte Umfang weiterhin zur Verfügung steht. Der prinzipielle Arbeitsablauf (Bild 7.3.1) — zweckmäßig gleichfalls unter Beteiligung des künftigen Betreibers — ist in Übereinstimmung mit den gültigen gesetzlichen Grundlagen (Tafel 7.3.1a) so zu gestalten, daß der Arbeitsfortgang im wesentlichen mit dem projektierten Leistungs- und Signalfluß übereinstimmt und eine Zerlegung in möglichst rückwirkungsfreie Arbeitsschritte möglich ist. Abweichungen von dieser Norm können natürlich durch besondere geplante, aber auch aktuelle Baustellenbedingungen zustande kommen. Jede Aktivität kann dabei als Unterprogramm gemäß Bild 7.3.2 aufgefaßt werden.

Selbstverständlich verbinden sich mit der SP-Technik Weiterungen infolge der neuen Komponente Software, die aber eine Aufwandsreduzierung im Hardware-Bereich zur Folge haben und darüber hinaus günstigere Bedingungen für die Fehlersuche (Diagnose, vgl. Abschn. 7.4.) schaffen. Eine Differenzierung bei der Ausführung der projektunabhängigen Inbetriebsetzungshinweise bzw. -vorschriften erscheint zweckmäßig. Während sich z. B. bei VP-Systemen (vgl. Abschnitte 4.2., 5.) eine für den gesamten Steuerungsschrank gültige Unterlage eingeführt hat, kann es sich in der SP-Technik durchaus als praktikabel erweisen, zwischen dem softwareunabhängigen Teil des Gefäßes (Grundausrüstung, Stromversorgung, Signalisation und Überwachungseinrichtung) und der eigentlichen programmierbaren Steuerung zu unterscheiden. So läßt sich nämlich in der gesonderten „Rechnerunterlage" die aufgabenklassenbezogene Spezifik (bedingt durch die Verschiedenartigkeit des Betriebssystems, vgl. Abschnitte 6.3.2.2., 6.3.4.3.) berücksichtigen.

Schwerpunkt der Sichtprüfung (*15.2*) ist die Leitungslegung (nach TGL 200-0613/03); folgende Gütekriterien sind dabei zu beachten:
- Übereinstimmung der Leitungstypen und Querschnitte sowie ihrer Kennzeichnung mit den Projektunterlagen
- Ausführung der Anschlüsse und Verbindungsstellen (Festigkeit, Kontaktgabe, sichere Zuführung).

Die Messung des Isolationswiderstands (*15.3*) umfaßt in der angegebenen Reihenfolge
- alle Hauptstromkreise gegen Erde oder Masse
- die Steuerstromkreise gegen Erde oder Masse
- die Steuerstrom- gegen Hauptstromkreise.

Sie muß Werte $\geqq 1000\ \Omega/V$ Nennspannung bei einer Prüfdauer $\geqq 1$ min erbringen. Eine zeitgleiche Ausführung der Aktivitäten 15.4 bis 15.6 verkürzt natürlich die Gesamtzeit, wobei in der

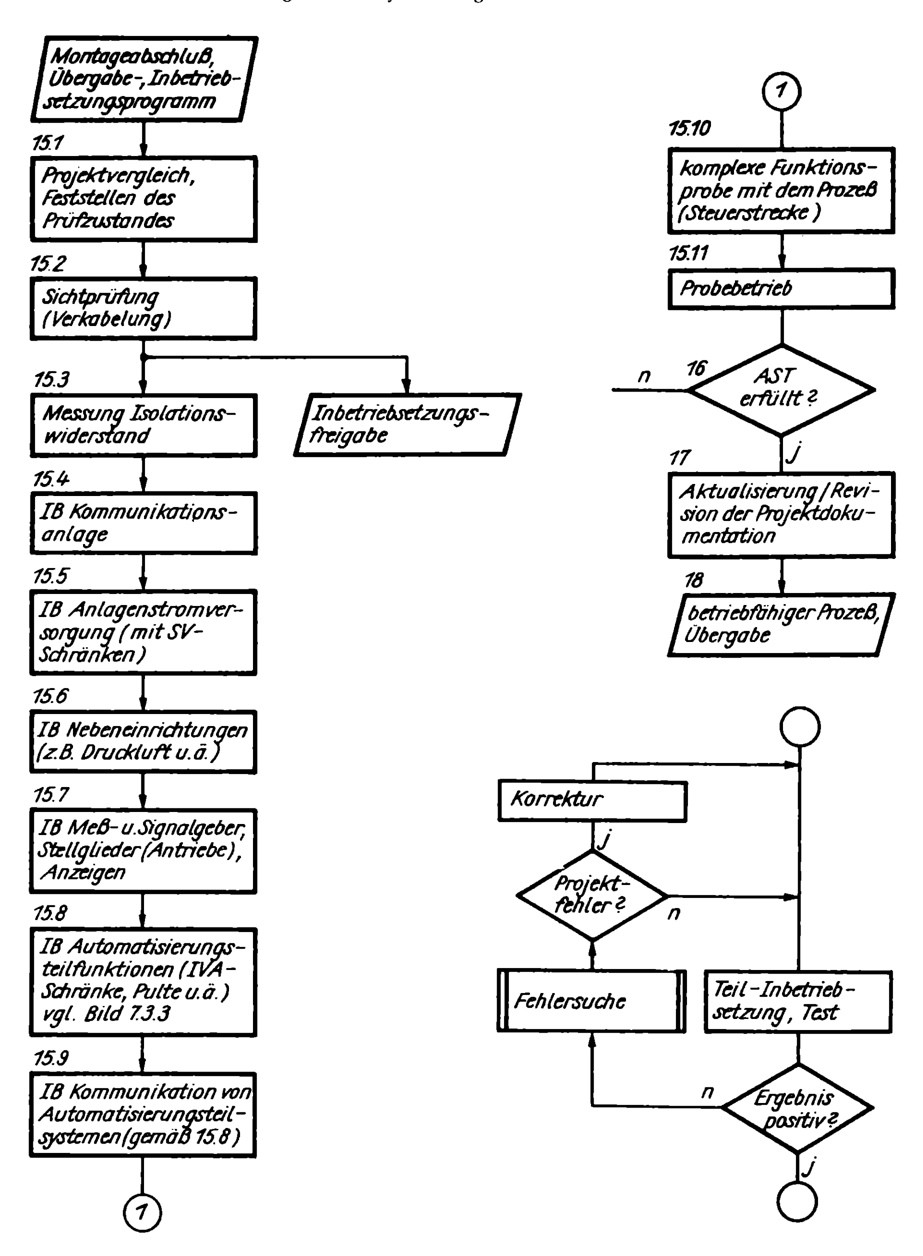


Bild 7.3.1
Ablauf der Inbetriebsetzung (IB)

Bild 7.3.2
Detailschritt der Inbetriebsetzung

Anlagenstromversorgung (*15.4*) insbesondere auf Polarität (bei Gleichspannung) und Erdfreiheit von Nullschiene bzw. Minusleitungen (und ggf. des Nulleiters) zu achten ist. Mit den Folgeschritten erfolgt zusätzlich die i. allg. unvermeidliche optimale Anpassung der Projektunterlagen/-ausführung an den technologischen Prozeß, da innerhalb der Projektierung ein vollständiges Berücksichtigen spezifischer Technologieprobleme fast unmöglich erscheint. Der Rücksprung aus *16* in die Phase der Projektierung (vgl. Bild 6.1.1) wird die extreme Ausnahme bleiben (vgl. Abschn. 6.1.2.). Alle Teilaktivitäten sind umfassend, z. B. in Form von Protokollen zu dokumentieren.

Beispielhaft sind Inbetriebsetzungsdetails eines Anlagenteilkomplexes an dem Schrank für eine SP-Einrichtung erläutert (Bild 7.3.3). Die gewählte PAP-Darstellung hat sich hier ebenfalls bewährt [7.11]. Bei Erfolglosigkeit eines Teilschritts kommt die Operation von Bild 7.3.2 zur Anwendung.

Die Inbetriebsetzung ist von besonders geschultem und versiertem Personal durchzuführen, seine Erfahrung trägt oft entscheidend zur Effizienz des Arbeitsablaufs und zur Optimierung der Prozeßsteuerung bei. Des weiteren ist eine ausgesprochen sorgfältige Fehlerstatistik und -analyse zu führen, weil oftmals nur während dieser Periode eine aussagefähige Datenrückmeldung praktiziert werden kann (vgl. Abschn. 6.3.5.2.).

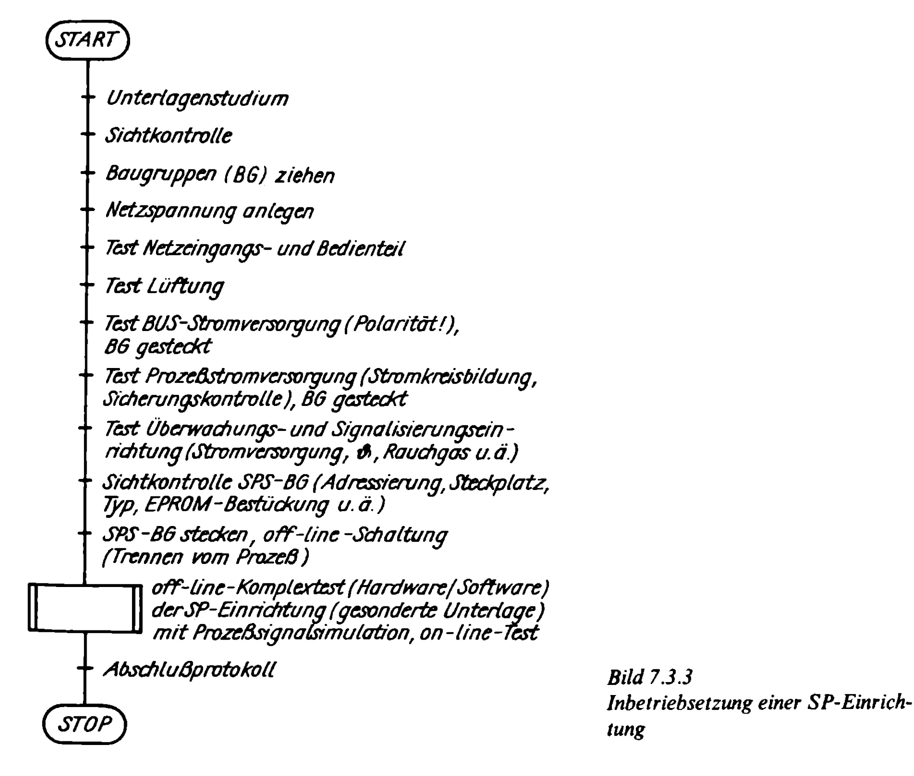


Bild 7.3.3
Inbetriebsetzung einer SP-Einrichtung

7.4. Wartung und Service

Wartung und Service, häufig in einer technischen Kundendienstorganisation vereint, bereiten den Betreiber auf die Übernahme der Prozeßsteuerungsanlage vor, betreuen sie im Anschluß an die Übergabe innerhalb sowie außerhalb des Garantiezeitraums und beeinflussen somit kostenabhängig ihre Verfügbarkeit.

Folgende Aufgaben gehören dazu:
- Kundenberatung
- Anwenderschulung
- Reparatur
- Ersatzteilversorgung
- Erfassen von Betriebserfahrungen (Datenrückmeldung)
- präventive Wartung.

Obwohl die Wartung zumindest für den Elektronikanteil gegen Null geht, erhält sie freilich von der Software und deren von der Hardware abweichendem Ausfallverhalten (vgl. Abschn. 6.3.3.2.) einen neuen Auftrag. Die „Pflege" von Anwender- und Systemprogrammen wird erforderlich, weil eine 100%ige Testabdeckung im Prüffeld unwirtschaftlich ist (vgl. Abschn. 7.1.2.) und sich deshalb erst im Laufe der Betriebszeit einstellen kann.

Basis für Wartung und Service eines bestimmten Projekts ist die gesamte dazugehörige Dokumentation, insbesondere aber spezielle, möglichst projektinvariante Service- und Wartungsvorschriften (als Bestandteil der Behandlungsvorschriften). Des weiteren sind bei Hersteller und Betreiber die mit dieser Aufgabe Beauftragten zu schulen, wobei besonders für die SP-Technik geeignete Ausbildungsmethoden zu erarbeiten und einzuführen sind (z. B. Fehlersuchstrategien mit Fehlersimulation und zurückgehaltenen Informationen [7.12]).

Den Kern der Servicevorschriften bilden Fehlersuchanleitungen, die unter Rückgriff auf die in VP- und SP-Einrichtungen implantierten Eigendiagnosemöglichkeiten sowie unter Nutzung zweckdienlicher Servicegeräte (in den wesentlichen Positionen mit der Inbetriebsetzungsgerätetechnik übereinstimmend, vgl. Tafel 7.3.1) eine schnelle systematische Fehlerlokalisierung und Störungsbeseitigung erlauben. Auch für solche Handlungsvorschriften haben sich formalisierte Darstellungen (Bild 7.4.1) bewährt, die bei Erfordernis um erläuternde Tabellen über durchzuführende Maßnahmen zu komplettieren sind. Mit zunehmender Komplexität der Prozeßsteuerung, mit ihrem wachsenden Schwierigkeitsgrad steigt einerseits die Bedeutung der technischen Diagnose [7.13] [7.14], da sie einen entscheidenden Beitrag zur Gewährleistung der Systemverfügbarkeit liefert. Andererseits bietet die SP-Technik bisher ungekannte Möglichkeiten zur automatischen und aufrufbaren Fehlerermittlung. Das mit Bild 7.4.2 gezeigte Prinzip eines hierarchischen Online-Diagnosekonzepts kann bei Bereitstellung geeigneter Mikrorechner und Sichtgeräte ggf. sogar

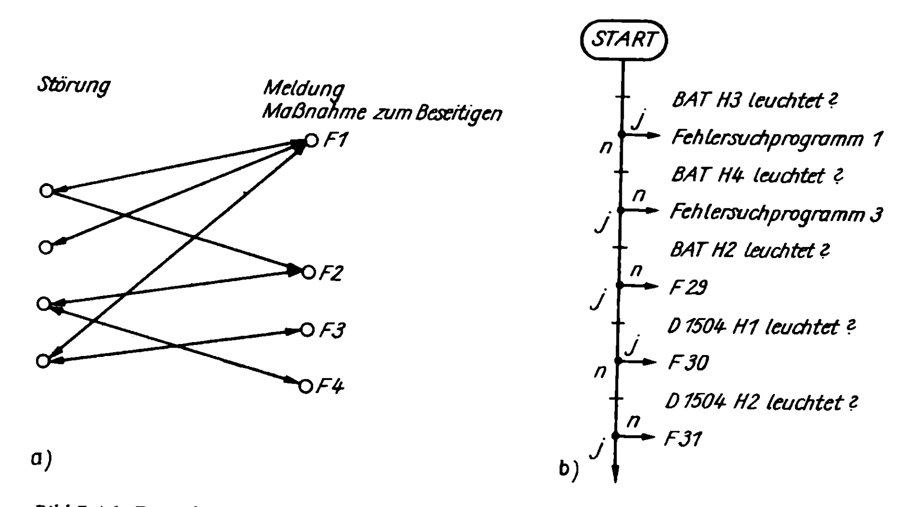


Bild 7.4.1. Formalisierte Darstellung von Fehlersuchanleitungen (Beispiele)

a) Ereignisnetz; b) Programmablaufplan (Linienmethode); *F* Maßnahme

vollständig innerhalb der SP-Steuereinrichtung verwirklicht werden (Built-in-Technik), während VP-Systeme dazu nur eingeschränkte Voraussetzungen bieten (Anteile von *1* und *3*) [7.15]. Zur Störungsmeldung und -lokalisierung werden in ausgedehnten Anlagen komplette bildschirm- und rechnergestützte Informationssysteme installiert [7.16] [7.17] (vgl. auch Abschn. 5.4.), mit denen das international verfolgte Ziel, mindestens 80% aller aufgetretenen Fehler automatisch anzuzeigen, durchaus erreichbar erscheint. Perfektion auf diesem Gebiet bieten sog. „Expertensysteme" [7.44], worunter Programmpakete (als Firmware oder in speziellen Geräten implementiert) zu verstehen sind, die zur Problemlösung/Fehlerbeseitigung von einer umfangreichen Wissensbasis ausgehende Entscheidungshilfen anbieten und dialogorientiert sind.

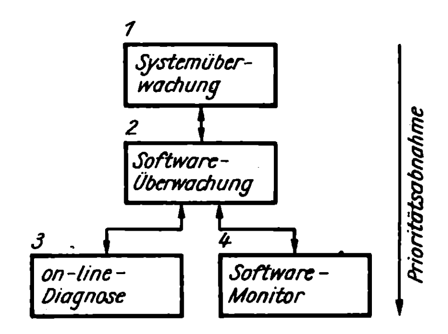


Bild 7.4.2
Hierarchisches On-line-Diagnosekonzept
1 Überwachen aller anderen Teilsysteme sowie der Netz-, internen Systemspannungen, der Temperatur und Lüftung mit Not-Aus
2 Ursachenuntersuchung (Störungsprotokoll im Klartext oder in der verwendeten Programmiersprache)
3 Hardware-Teil zur On-line- und internen Kopplung (mit Plausibilitätsprüfung peripherer Signale und Software-Syntaxtest)
4 Speicher der letzten Steuerungs-/Bedienaktivitäten zur Fehlerrekonstruktion

Einen weiteren Schwerpunkt von Wartung und Service stellt die Reparatur dar. Die diesbezüglichen Alternativen nach Tafel 7.4.1 verdeutlichen den Zusammenhang von Anlagenverfügbarkeit und Kosten. Ein wirtschaftlicher Kompromiß bietet sich mit der Einrichtung eines Ersatz-

Tafel 7.4.1. Alternativen für Service und Wartung (außerhalb der Garantie)

	Variante	Zeit zum Beheben der Störung (Ausfalldauer t_A)	Kostenaufwand		Voraussetzungen beim Betreiber
			Hersteller	Betreiber	
1	Reparatur beim Hersteller oder in einer autorisierten Vertragswerkstatt	lang	niedrig (nur Ersatzbauelemente)	–	–
2	Reparatur durch den Betreiber	mittel	keine	hoch (Gerätetechnik, Ersatzbauelemente)	Qualifikation, spez. Reparatur- und Prüfeinrichtungen
3	Ersatzteillager beim Betreiber	sehr kurz	wie 1	mittel (Ersatzteile)	Lagerorganisation
4	Kundendienstorganisation des Herstellers (Austauschteiledienst für bestimmtes Territorium)	mittel	Investition für Austauschteiledienst	–	–

teillagers beim Betreiber in Verbindung mit der Reparatur durch den Lieferanten bzw. durch eine autorisierte Werkstatt (Kombination der Varianten 3 und 1). Sein Bestand an Ersatzteilen n_* richtet sich nach den Zuverlässigkeitskennwerten [7.33] [7.43].

7.5. Gesamtprojektabwicklung

Projektierung bzw. Entwurf und Fertigung von Prozeßsteuerungen stellen — wie die vorangegangenen Abschnitte zeigen — eine umfassend kooperative Aufgabe dar, an der verschiedenste Personengruppen mit unterschiedlichen Kenntnissen, Fähigkeiten und Verantwortungsbereichen mitwirken. Das Ziel, die Prozeßsteuerung innerhalb eines durch einen Vertrag festgeschriebenen Termin- und Kostenrahmens an den Auftraggeber (Kunden) auszuliefern, erfordert folglich eine Projektleitung mit den Hauptaufgaben

- Planung
- Anleitung
- fachliche und wirtschaftliche Kontrolle,

zum Überwachen des im Bild 6.1.1 dargestellten Gesamtablaufs.

Anleitung und fachliche Kontrolle konzentrieren sich auf die technischen Eigenschaften des Ergebnisses, d. h. auf Identität zur Aufgabenstellung, auf Fehlerfreiheit sowie auf das Einhalten der Qualitätsforderung. Die wirtschaftliche Kontrolle dagegen — i. allg. vom Projektleiter ausgeführt — hat die Termin- und Kostentreue zum Gegenstand und bestimmt entscheidend die (ökonomische) Effektivität eines Prozeßsteuerungsprojekts, da ein Überziehen dieser Positionen empfindliche finanzielle Verluste nach sich ziehen kann. Eine derartige Teilung des Managements ist immer zu empfehlen, weil für die unterschiedlichen Aufgaben differenzierte Fertigkeiten vorhanden sein müssen, die selten in einem Mitarbeiter vereinigt und im übrigen auch von dieser Person allein nicht zu bewältigen sind.

Die Projektbearbeitung beginnt mit der Planungsphase nach Kapazität und Terminen (Bilanzierung), die sich, zurückrechnend vom gebundenen Endtermin (z. B. Abschluß des Probebetriebes und Übergabe an den Kunden), in eine Grob- und Feinplanungsphase unterteilen läßt. Erstere legt die wichtigsten Zeitpunkte fest, wie etwa Bauangaben zum Projekt (Aufstellungspläne u. ä.), Bedarfsmeldung für die Fertigung, Abgabe der Ausrüstungsliste (Al), Aufgabenstellung zum Montageprojekt, Projekt- und Fertigungsunterlagen (gestaffelt), Fertigung, Lieferung, Inbetriebsetzungsabschluß, Probebetrieb u. ä.

Die Feinplanung hingegen fixiert Teilabläufe sowie Zwischentermine mit den dazugehörigen Bearbeitern. Der im Ergebnis vorliegende Ablauf (Netzplan) muß überdies folgendes ermöglichen:

- Kennzeichnen des kritischen Weges
- übersichtliche Kontrollfähigkeit
- Verdeutlichen der Arbeitsabschnitte mit den größten Unsicherheiten.

Zu beachtende strategische Gesichtspunkte beim Aufstellen eines solchen Feinplans sind dabei:

- minimale Kommunikation zwischen den Arbeitsabschnitten bzw. Teilaufgaben (also den dazugehörigen Mitarbeitern)
- kein Durchschlagen des Versagens eines Mitarbeiters bzw. bei einer Teilaufgabe auf die Gesamtplanung
- einfache Korrekturmöglichkeit zum Anpassen an aktuelle Situationen.

Hinter diesen Forderungen verbirgt sich die bei Kollektivarbeit (Teamwork) stets zu berücksichtigende Tatsache, daß die geleistete Arbeit zwei Komponenten umfaßt:

- den produktiven Beitrag zum Projektfortschritt
- die unumgängliche gegenseitige Abstimmung (Kommunikation zwischen den beteiligten Mitarbeitern).

Nur bei ausschließlicher Existenz der ersten Komponente kann ein Erhöhen der Mitarbeiter-

anzahl eine Terminverkürzung bewirken. Generell gibt es ein Mitarbeiteroptimum [7.18]. Ein Überschreiten dieser Grenze führt zwangsläufig zu einem erhöhten Abstimmungsaufwand, so daß Terminschwierigkeiten — unabhängig vom Zeitpunkt ihres Auftretens — in der Regel nicht durch eine Kapazitätserweiterung zu beheben sind. Die Notwendigkeit der Annäherung an dieses Optimum macht auch die Kenntnis unproduktiver Verlustzeiten deutlich [7.19].

Entscheidendstes Instrument der Projektleitung ist die Berichterstattung, auf deren Basis Entscheidungen ggf. zur Korrektur des Ablaufs gefällt werden. Ihre Wirksamkeit erfordert das Beachten nachstehender Prinzipien:

- fester zeitlicher Rhythmus und geeignete Kontrollorganisation (Objektleitkollektiv o. ä.) mit einem ausschließlich dafür zuständigen Bearbeiter (Organisator, Sekretär), Teilnahme des nur unbedingt erforderlichen Personenkreises
- Beschränkung auf Meldungen über das Erfüllen einer kontinuierlichen Folge von Ereignissen (Netzplan), deren fachliche Bedeutung der Projektleiter nicht unbedingt vollständig verstehen muß
- übersichtliche Buchführung (Protokollierung)
- unbedingte Vertrauensbasis zwischen Kontrollierendem und Team.

Insgesamt läßt sich die Projektabwicklung als ein klassischer Regelkreis mit folgenden Entsprechungen darstellen (Bild 7.5.1):

- Regelstrecke ≙ Projektbearbeitung
- Regeleinrichtung, bestehend aus
  - Meßglied ≙ Berichterstattung
  - Regler mit Sollwert-Istwert-Vergleich ≙ Projektleitung
  - Stellglied ≙ Entscheidungen/Weisungen der Projektleitung.

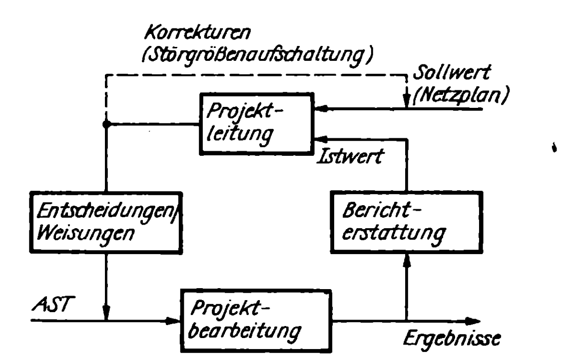


Bild 7.5.1.
Abwicklung des Gesamtprojekts

7.6. Ausblick, Ansatzpunkte zur weiteren Effektivierung

Das ungebrochen gültige exponentielle Wachstumsgesetz der Mikroelektronik stellt eine permanente Herausforderung an die Technik im allgemeinen und an die Prozeßautomatisierungs-/Prozeßsteuerungstechnik im besonderen dar. Daß sie beherrscht wird, ist deutlich aus den positiven, alle Erwartungen bestätigenden industriellen Einsatzerfahrungen [7.36] bis [7.39] und aus dem dadurch beschleunigten, immer stärkeren Vordringen der speicherprogrammierbaren Technik zu erkennen [7.20] bis [7.24] [7.40]. Aus dieser fortschreitenden, z. T. nur erahnbaren, Perspektiven eröffnenden Miniaturisierung [7.42], die in den Laboratorien nicht nur auf die physikalischen Grenzen der „klassischen" Technologien zugeht, sondern in deren Zusammenhang bereits die Anwendung biologischer, vor allem gentechnischer Verfahren zum Erzeugen molekularer „bio-

kompatibler" Halbleiterbauelemente ernsthaft diskutiert wird, lassen sich zusammenfassend folgende Tendenzen ablesen:

- Dezentralisierung der Anlage (mit serieller Datenübertragung zur Kommunikation der Teilanlagen, Einsatz von Lichtwellenleitern)
- Steigerung der Funktionssicherheit (elektromagnetische Verträglichkeit, Verfügbarkeit — auch durch Anwenden fehlertolerierender Multi-Mikrorechnersysteme —, starkstromnaher Einsatz)
- Erhöhung des Bedienkomforts (verstärkter Displayeinsatz, Echtzeitbildverarbeitung) [7.34] [7.35]
- Steigerung des Eigendiagnoseumfangs, Einsatz von Expertensystemen [7.44]
- erhöhte Verarbeitungsgeschwindigkeit
- Nutzung höherer Programmiersprachen (Programmieren ohne Rechnerkenntnisse)
- Zunahme von aufwärtskompatiblen Gerätefamilien.

Mit dieser Entwicklung — soll sie voll zum Tragen kommen — muß ohne Frage die Meß- und Stelltechnik schritthalten. Aus dieser technischen Situation sowie aus den wirtschaftlichen und sozialen Rahmenzielen [7.25]

- Steigerung von Arbeitsproduktivität und Absatz [7.26]
- Produktion von „freier Zeit" und Bedürfnisbefriedigung

leiten sich letztendlich auch die Ansatzpunkte für eine weitere Effektivierung des gesamten Prozesses der technischen und technologischen Vorbereitung — von Entwurf bis Realisierung einer Prozeßsteuerung — ab:

- weiteres Ausbauen der durchgängigen Anwendung von CAD und CAS [7.27] (rechnergestützte Projektierung mit verbesserten Software-Werkzeugen zur Software-Produktion)
- Nutzen höherer und komplexerer Programmiersprachen für Echtzeitaufgaben
- Einsatz dezentralisierter, interaktiver Bildschirmarbeitsplätze (keine funktionsbezogenen Spezialgeräte, sondern modulare aufrüstbare Kommunikationsarbeitsplätze) [7.34]
- inkrementelle Steigerung des Fertigungsautomatisierungsgrades (Integration vereinzelter „Insel"-Automatisierungssysteme zu einer Hierarchie, Einsatz von „Robotern", rechnergestützte Komplexprüfung mit optimaler Prozeßsimulation) [7.41]
- Senken des Montage- und Inbetriebsetzungsaufwands (praktikablere Anschlußtechniken, höhere Testabdeckung im Prüffeld, miniaturisierte leistungsfähige Programmiergeräte, built-in-programming)
- EDV-Unterstützung der Qualitätssicherung (zur kurzfristigen, vollständigen und gezielten Datenrückmeldung [7.28])
- Ausweitung von Wartung und Service (24-h-Service — im Bedarfsfall, Garantiezeitverlängerung u. ä.).

Hieraus folgt, daß es sich um eine Optimierung im Sinne des geringsten Aufwands an Energie, Material, Erstellungszeit und sonstiger Kosten handelt. Dieses Ziel schließt eine weitgehende Hardware- und Software-Invarianz des zum Lösen dieser Aufgaben zu schaffenden Instrumentariums gegenüber den applizierten Geräte- und Bauelementefamilien ein. Nur so kann nämlich die zunehmende Verbreitungsgeschwindigkeit von Innovationen überhaupt beherrscht werden [7.25].

Nicht unerwähnt dürfen in diesem Zusammenhang die erheblichen Entwicklungsvorleistungen und die Aufwendungen für die Qualifizierung des betreffenden Personenkreises bleiben. Die Leistungsgrenze zwischen Entwicklung und Projektierung verschiebt sich — nicht zuletzt zum Zweck des Verkürzens der Projektdurchlaufzeit — in Richtung Projektierung, d. h., in Zukunft wird der Projektierungsingenieur Anteile bearbeiten, die bisher in die Zuständigkeit der Entwicklung fielen. Aus- und Weiterbildung fordern als logische Folge der sich wandelnden Technologien und zum Beibehalten bzw. sogar zum Steigern der Innovationsfähigkeit der Mitarbeiter verstärkte Aufwendungen und problem- und praxisorientierte (bezahlte) Formen, vor allem nach Abschluß der Grundlagenausbildung an den Hoch- oder Fachschulen.

8. Literaturverzeichnis

Bedeutung von Abkürzungen

atp	Automatisierungstechnische Praxis
msr	messen, steuern, regeln
msr ap	messen, steuern, regeln — automatisierungspraxis
rfe	radio, fernsehen, elektronik
rtp	Regelungstechnische Praxis
RA	Reihe Automatisierungstechnik
WTI KAAB	Wissenschaftlich-technische Informationen VEB Kombinat Automatisierungsanlagenbau
WTI KAAB/KEA	Wissenschaftlich-technische Informationen VEB Kombinat Automatisierungsanlagenbau, VEB Kombinat Elektroenergieanlagenbau
KEAW	Kombinat VEB Elektro-Apparate-Werke Berlin-Treptow „Friedrich Ebert"
ZFT EPA	Zentrum für Forschung und Technologie des VEB Elektroprojekt und Anlagenbau Berlin (ehemals Institut für Elektro-Anlagen — IEA)

Abschnitt 1.

[1.1] *Lehmann, G.*; *Falk, K.*; *Grubba, K.*: Zur Entwicklung der Prozeßsteuerungstechnik im Industriezweig Automatisierungs- und Elektroenergie-Anlagenbau. Der VEM-Elektro-Anlagenbau 12 (1976) H. 4, S. 160—165

[1.2] *Schwarz, W.*; *Zecha, M.*; *Meyer, G.*: Industrierobotersteuerungen. Berlin: VEB Verlag Technik 1985

[1.3] VEM-Handbuch Die Technik der elektrischen Antriebe, Grundlagen. 8. Aufl. Berlin: VEB Verlag Technik 1985

[1.4] *Schönfeld, R.*; *Habiger, E.*: Automatisierte Elektroantriebe. 2. Aufl. Berlin: VEB Verlag Technik 1983

[1.5] Beiträge verschiedener Verfasser zur Thematik „Prozeßsteuerungen" in den Jahrgängen 1965 bis 1975 der Zeitschrift Der VEM-Elektro-Anlagenbau

[1.6] *Töpfer, H.*; *Kriesel, W.*: Automatisierungstechnik — Gegenwart und Zukunft. RA Bd. 200. Berlin: VEB Verlag Technik 1982

[1.7] *Notebohm, H.*: Entwicklungen der Informationstechnik. atp 27 (1985) H. 5, S. 224—230 und H. 6, S. 267—273

[1.8] *Martin, T.*: Flexible Automation in der Fertigungstechnik. atp 28 (1986) H. 3, S. 235—237

Abschnitt 2.

[2.1] *Kloust, H.*: Neue standardisierte Festlegungen für die Realisierung von Automatisierungsanlagen mit eingesetzter Mikroelektronik. msr 29 (1986) H. 6, S. 272—274

[2.2] VEM-Taschenbuch Automatisierungs- und Elektroenergie-Anlagen. 4. Aufl. Berlin: VEB Verlag Technik 1987

[2.3] *Habiger, E.*: Abkürzungen in der Automatisierungstechnik, Mikrorechentechnik und -elektronik. RA Bd. 217. Berlin: VEB Verlag Technik 1985

[2.4] TGL 32991/02 Automatisierungsanlagen; Begriffe, Symbole. Ausg. Juni 1976

[2.5] *Fuchs, H.*: Kleines Lexikon der automatischen Steuerung. RA Bd. 194. 2. Aufl. Berlin: VEB Verlag Technik 1985

[2.6] *Kloust, H.*: Automatisierungsanlagen. Standards und Kenngrößen. RA Bd. 213. Berlin: VEB Verlag Technik 1985

[2.7] Steuerungstechnik. Begriffe, Normen, Darstellung. Druckschrift der Firmen AEG-Telefunken, BBC und Siemens. Seligenstadt, Baden (Schweiz), Frankfurt (Main) 1978

[2.8] DIN 19226 Regelungstechnik und Steuerungstechnik. Begriffe und Benennungen

[2.9] DIN 19237 Messen, Steuern, Regeln. Steuerungstechnik. Begriffe

[2.10] *Latzel, W.*; *Oetker, R.*: Regelung und Steuerung — Neufassung der Begriffe. rtp 22 (1980) H. 7, S. 218—220

[2.11] VEM-Projektierungsvorschrift Ordnungs-Nr. 6.9./6.79. Automatisierte Systeme zur Steuerung technologischer Prozesse (ASU-TP); Teil I, Allgemeine Begriffe. ZFT EPA

[2.12] RS 1376-74 Geräte und Mittel der Automatisierung; Industrielle Automation, Termini und Definitionen

[2.13] *Zander, H. J.*: Zur Situation auf dem Gebiet des Entwurfs von Binärsteuerungen. msr 27 (1984) H. 8, S. 341—347

[2.14] *Metz, J.*; *Merbeth, G.*: Schaltalgebra. 2. Aufl. Leipzig: VEB Fachbuchverlag Leipzig 1981

[2.15] *Alder, J.*: Aufgabenstellung und Entwurf von Binärsteuerungen. RA Bd. 222. Berlin: VEB Verlag Technik 1986

[2.16] *Bochmann, C.*, u. a.: Boolesche Gleichungen. Berlin: VEB Verlag Technik 1984

[2.17] *Leonhardt, E.*: Grundlagen der Digitaltechnik. Berlin: VEB Verlag Technik 1977

[2.18] *Pilz, S.*: Theorie der digitalen Schaltungen. In: Taschenbuch Elektrotechnik. Bd. 2, 3. Aufl., Abschnitt 10. Berlin: VEB Verlag Technik 1987

[2.19] *Zander, H. J.*: Logischer Entwurf binärer Systeme. 2. Aufl. Berlin: VEB Verlag Technik 1985

[2.20] *Oberst, E.*: Beschreibungsmittel für binäre Steuerungen — eine Übersicht. Dresden: ZKI-Informationen (1979) H. 1, S. 7—12

[2.21] *Fasol, K. H.*; *Vingron, P.*: Synthese industrieller Steuerungen. Berlin: Akademie-Verlag 1975

[2.22] *Zander, H. J.*: Entwurf von Folgeschaltungen. RA Bd. 158. Berlin: VEB Verlag Technik 1974

[2.23] *Gilio, W.*; *Liebig, H.*: Logischer Entwurf digitaler Systeme. 2. Aufl. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag 1980

[2.24] *Stürz, H.*; *Cimander, W.*: Logischer Entwurf digitaler Schaltungen. Berlin: VEB Verlag Technik 1976

[2.25] *Bochmann, D.*; *Posthoff, C.*: Binäre dynamische Systeme. Berlin: Akademie-Verlag 1981

[2.26] *Weller, W.*: Lernende Steuerungen. Berlin: VEB Verlag Technik 1985

[2.27] *Bochmann, D.*: Einführung in die strukturelle Automatentheorie. Berlin: VEB Verlag Technik 1975

[2.28] *Stürz, H.*; *Cimander, W.*: Automaten — Theorie und ihre Anwendung in der digitalen Schaltungstechnik. 2. Aufl. Berlin: VEB Verlag Technik 1975

[2.29] *Trachtenbrot, B. A.*: Algorithmen und Rechenautomaten. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften 1977

[2.30] *Bochmann, D.*; *Roginskj*: Dynamische Prozesse in Automaten. Berlin: VEB Verlag Technik 1977

[2.31] *Wunsch, G.*; *Schreiber, H.*: Digitale Systeme. 2. Aufl. Berlin: VEB Verlag Technik 1986

[2.32] *Wunsch, G.*: Systemanalyse, Bd. 3 (Digitale Systeme). Berlin: VEB Verlag Technik 1971

[2.33] *Eckhardt, D.*; *Konrad, E.*; *Leupold, W.*: Entwurf komplexer digitaler Schaltungen. RA Bd. 175. Berlin: VEB Verlag Technik 1976

[2.34] Fachberichte Messen, Steuern, Regeln: Kolloquiumsbericht „Entwurf digitaler Steuerungen". Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag 1979

[2.35] *Schmidt, B.*: Technisches Darstellen. Berlin: VEB Verlag Technik 1985

[2.36] *Niemitz, M.*: Technisches Zeichnen MSR-Technik. Berlin: VEB Verlag Technik 1982

[2.37] *Markert, C.*: Schaltpläne und Schaltzeichen in der Elektrotechnik/Elektronik. Berlin: VEB Verlag Technik 1986

[2.38] *Kloust, H.*: Schaltpläne für die Automatisierungstechnik. msr 23 (1980) H. 10, S. 550—555

[2.39] *Töpfer, H.*; *Kriesel, W.*: Funktionseinheiten der Automatisierungstechnik. 4. Aufl. Berlin: VEB Verlag Technik 1983

[2.40] VEM-Projektierungsvorschrift Ordnungs-Nr. 7.4/9.78. Stromlaufpläne; Teil 2: Schaltzeichen. ZFT EPA

[2.41] *Wiedmer, H.*: Technische Informationen messen, steuern, regeln. 2. Aufl. Berlin: VEB Verlag Technik 1964

[2.42] DDR-Industrieautomation: Symbol-Katalog

[2.43] *Stahn, H.*; *Schümann, B.*: Entscheidungstabellentechnik zur Entwicklung und Implementierung von Prozeßsteuerungen auf Mikrorechnern. msr 28 (1985) H. 4, S. 162—164

[2.44] *Knoch, W.*: Entscheidungstabellen und ihre praktische Anwendung. Rechentechnik/Datenverarbeitung 10 (1973) H. 12, S. 33—37

[2.45] *Busch, H.-J.*; *Mengelin, M.*; *Stahn, H.*: Algorithmisches System, Entscheidungstabellentechnik. Berlin: Akademie-Verlag 1981

[2.46] *Weber, B.*: Zur Rationalisierung der Projektierung konventioneller Werkzeugmaschinensteuerungen. msr ap 19 (1976) H. 10, S. 232—236

[2.47] *Scholz, K.-P.*: Mikroelektronik und deren Bauteile. Berlin: VEB Verlag Technik 1986

[2.48] *Möschwitzer, A.*; *Jorke, G.*: Mikroelektronische Schaltkreise. 2. Aufl. Berlin: VEB Verlag Technik 1981

[2.49] *Hanke, H.-J.*; *Fabian, H.*: Technologie elektronischer Baugruppen. 3. Aufl. Berlin: VEB Verlag Technik 1982

[2.50] *Möschwitzer, A.*: Grundkurs Mikroelektronik. 2. Aufl. Berlin: VEB Verlag Technik 1986

[2.51] *Seifart, M.*: Digitale Schaltungen. 2. Aufl. Berlin: VEB Verlag Technik 1986

[2.52] *Eckhardt, D.*; *Groß, W.*: Grundlagen der digitalen Schaltungstechnik. Berlin: Militärverlag der DDR 1982

[2.53] *Möschwitzer, A.*: Halbleiterelektronik. Wissensspeicher. 5. Aufl. Berlin: VEB Verlag Technik 1986

[2.54] *Kohl, G.*: Schicht- und Schicht-Hybrid-Technik. Berichte zur Nachrichtentechnik, Bd. 6. 2. Aufl. Berlin: Inst. f. Nachrichtentechnik 1983

[2.55] *Elfenberger, E.*: Stand und Entwicklung bei integrierten Schichtschaltungen. Elektronik 30 (1981) H. 23, S. 45—48

[2.56] *Dittmann, J.*; *Groeger, H.-J.*: Handbuch der anwenderorientierten Mikroelektronik. Essen: Vulkan-Verlag 1985

[2.57] *Ammon, P.*: Entwicklungsablauf von ASIC-Schaltungen. Elektronik 35 (1986) H. 7, S. 218—226

[2.58] *Buttgereit, D.*: Integrierte Schaltungsanordnungen. rfe 31 (1982) H. 3, S. 143—145

[2.59] *Trong, D. S.*: Gate-Array. Elektronik 31 (1982) H. 17, S. 65—70; H. 18, S. 73—76

[2.60] *Franke, K.*: Einführung in die Mikrorechentechnik. 2. Aufl. Berlin: VEB Verlag Technik 1986

[2.61] Beiträge zur Mikrocomputertechnik. Herausgegeben von *M. Roth*. Berlin: VEB Verlag Technik 1986

[2.62] *Kieser, H.*; *Bankel, M.*: Einchipmikrorechner. Berlin: VEB Verlag Technik 1986

[2.63] *Schwarz, W.*; *Meyer, G.*; *Eckhardt, D.*: Mikrorechner — Wirkungsweise, Programmierung, Applikation. 4. Aufl. Berlin: VEB Verlag Technik 1985

[2.64] *Claßen, L.*; *Oefler, U.*: Wissensspeicher Mikrorechnerprogrammierung. 2. Aufl. Berlin: VEB Verlag Technik 1986

[2.65] *Matschke, J.*: Von der einfachen Logikschaltung zum Mikrorechner. 3. Aufl. Berlin: VEB Verlag Technik 1986

[2.66] *Kieser, H.*; *Meder, M.*: Mikroprozessortechnik. Aufbau und Anwendung des Mikroprozessorsystems U 880. 3. Aufl. Berlin: VEB Verlag Technik 1986
[2.67] *Werner, D.*: Programmierung von Mikrorechnern. 2. Aufl. Berlin: VEB Verlag Technik 1986
[2.68] *Männer, R.*: 16-Bit-Prozessoren im Vergleich. Elektronik 30 (1981) H. 5, S. 77—82; H. 6, S. 119—124; H. 7, S. 101—107
[2.69] *Stuhlmüller, P.*: Z 8000 — Aufbau und Anwendungen. Heidelberg: Dr. Alfred Hüthig Verlag 1980
[2.70] *Rector, R.*; *Alexy, G.*: Das 8086/8088-Buch. Heidelberg: Dr. Alfred Hüthig Verlag 1983
[2.71] *Göpel, K.*; *Richter, K.*: Einsatz der Optoelektronik in Automatisierungsanlagen. msr 22 (1979) H. 9, S. 495—499
[2.72] *Göpel, K.*: Realisierung und Betrieb von Lichtwellenleitersystemen in industriellen Steueanlagen. msr 28 (1985) H. 3, S. 110—112
[2.73] *Glaser, W.*: Lichtwellenleitertechnik — Eine Einführung. 2. Aufl. Berlin: VEB Verlag Technik 1986
[2.74] *Engelage, D.*: Lichtwellenleiter in Energie- und Automatisierungsanlagen. Berlin: VEB Verlag Technik 1986
[2.75] *Göpel, K.*: Diagramme vereinfachen das Projektieren von Lichtleiterübertragungsstrecken. WTI KAAB 18 (1982) H. 3, S. 110—112
[2.76] *Lasch, R.*; *Scheel, W.*; *Labs, J.*: Optische Informationsübertragung mit Plastlichtleitern. Nachrichtentechnik — Elektronik 32 (1982) H. 11, S. 451—453
[2.77] *Udalov, N. P.*; *Busurin, W. I.*: Optron, ein steuerbarer Lichtleiter als neues Bauelement der Meßtechnik. msr 23 (1980) H. 9, S. 504 u. 505
[2.78] *Michailoff, M.*; *Göpel, K.*: Optoelektronische Informationsgewinnung in Automatisierungsanlagen. Elektrie (1982) H. 12, S. 641—643
[2.79] *Härtig, Th.*: Einsatz passiver optischer Bauelemente in der Automatisierungstechnik. msr 28 (1985) H. 3, S. 107—110
[2.80] *Ullrich, P.*: Faseroptische Wegaufnehmer als Grundelement für Sensoren. atp 27 (1985) H. 3, S. 117—123
[2.81] *Fuchs, H.*: *Göpel, K.*: Lichtleitertechnik in der Automatisierungstechnik. RA Bd. 211. Berlin: VEB Verlag Technik 1984
[2.82] *Popp, W.*: Lichtwellenleitertechnik in der Praxis der Prozeßdatenkommunikation. rtp 25 (1983) H. 4, S. 141—146; H. 5, S. 192—197
[2.83] *Schwaier, A.*: Lichtwellenleiter in der Prozeßmeßtechnik. atp 27 (1985) H. 11, S. 509—512 und H. 12, S. 574—578

Abschnitt 3.

[3.1] *Reinisch, K.*: Kybernetische Grundlagen und Beschreibung kontinuierlicher Systeme. Berlin: VEB Verlag Technik 1974
[3.2] *Zypkin, Ja. S.*: Grundlagen der Theorie automatischer Systeme. Berlin: VEB Verlag Technik 1981
[3.3] *Findeisen, W.*: Hierarchische Steuerungssysteme. Berlin: VEB Verlag Technik 1977
[3.4] *Peschel, M.*; *Wunsch, G.*: Methoden und Prinzipien der Systemtheorie. Berlin: VEB Verlag Technik 1972
[3.5] *Wunsch, G.*: Systemanalyse Bd. 1. Berlin: VEB Verlag Technik 1972
[3.6] *Lange, F. H.*: Signale und Systeme. Bd. 1. Berlin: VEB Verlag Technik 1970
[3.7] *Rajbman, N. S.*; *Cadeev, V. M.*: Identifikation. Modellierung industrieller Prozesse. Berlin: VEB Verlag Technik 1980
[3.8] *Töpfer, H.*: Bemerkungen zu hierarchisch strukturierten Automatisierungslösungen. msr 29 (1986) H. 8, S. 356—360
[3.9] *Polke, M.*: Informationshaushalt technischer Prozesse. atp 27 (1985) H. 4, S. 161—171
[3.10] *N. N.*: Systemporträt Contronic P. rtp 24 (1982) H. 4, S. 124—131

[3.11] *Ammon, W.*: Das Integrierte Automatisierungssystem von AEG-Telefunken. atp 27 (1985) H. 4, S. 192—199

[3.12] *Kriesel, W.*: Weiterentwicklung von Mikrorechner-Automatisierungssystemen unter dem Einfluß von LAN. msr 29 (1986) H. 1, S. 10—14

[3.13] *Bahrs, U.*; *Schöpflin, H.*: Anwendung der Rechentechnik im System ursamat. Impuls 21 (1981) H. 2, S. 63—69

[3.14] *Neugebauer, G.*: Problemorientiertes Notierungssystem für die Konzipierung und den technischen Entwurf digitaler Steuerungssysteme. msr 24 (1981) H. 1, S. 16—22

[3.15] *Grubba, K.*; *Neumann, P.*: Probleme der einheitlichen Gestaltung von Automatisierungsanlagen mit Mikrorechnern bei der Integration von steuerungs- und regelungstechnischen Aufgaben. 24. Internat. wiss. Koll. der TH Ilmenau, H. 1, S. 195—197, Ilmenau 1979

[3.16] *Töpfer, H.*; *Fuchs, H.*; *Willem, H.*: Moderne gerätetechnische Mittel und ihre Konsequenzen für moderne Automatisierungskonzepte. msr 23 (1980) H. 1, S. 2—10

[3.17] *Fritzsch, W.*: Prozeßrechentechnik. 3. Aufl. Berlin: VEB Verlag Technik 1986

[3.18] *Stute, G.*: Steuerungstechnik — Einführung, Steuerungsstrukturen, Steuerungstechniken. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag 1981

[3.19] *Philippow, E.*: Taschenb. Elektrotechnik. Bd. 2. 3. Aufl. Berlin: VEB Verlag Technik 1987

[3.20] *Woschni, E. G.*: Informationstechnik. 2. Aufl. Berlin: VEB Verlag Technik 1981

[3.21] *Fritzsch, G.*: Informationsübertragung. 2. Aufl. Berlin: VEB Verlag Technik 1981

[3.22] *Kress, D.*: Theoretische Grundlagen der Übertragung digitaler Signale. Berlin: Akademie-Verlag 1979

[3.23] *Müller, G.*: Projektierung von Mikrorechner-Automatisierungsanlagen als Informationssystem. msr 30 (1987) H. 1, S. 15—20

[3.24] Siehe [2.7]

[3.25] VEM-Handbuch Automatisierungsanlagen. Berlin: VEB Verlag Technik 1986

[3.26] Siehe [2.19]

[3.27] *Voigt, G.*; *Cramer, C.*: Diskontinuierliche technische Prozesse. Berlin: Akademie-Verlag 1986

[3.28] *Wolf, H.*: Die Stufen der Aufgabenfixierung bei der Projektierung von Binärsteuerungen. Wiss. Z. TH Leipzig 5 (1981) H. 1, S. 5—9

[3.29] *Neumann, P.*: Mikrorechner in Automatisierungsanlagen. RA Bd. 202. Berlin: VEB Verlag Technik 1983

[3.30] *Pupyrev, B. I.*: Perestraivaemye avtomaty i mikroprocessornye sistemy (Verstellbare Automaten und Mikroprozessorsysteme). Moskau: Nauka 1984

[3.31] *Strohrmann, G.*: Prozeßleittechnik. Fortsetzungsreihe in atp 26 (1985) H. 10ff.

[3.32] *Brost, B. I.*: Prozeßführungssystem TDC 3000. rtp 26 (1984) H. 5, S. 226—231

[3.33] *Borsi, L.*; *Pavlik, E.*: Konzepte und Strukturen dezentraler Prozeßautomatisierungssysteme. rtp 22 (1980) H. 9, S. 302—309

[3.34] *Bennewitz, W.*: Topologie von Automatisierungsanlagen mit verteilten Mikroprozessorrechnern. msr 24 (1981) H. 4, S. 191—193

[3.35] *Wiemann, B.*, u. a.: Bussysteme. Fortsetzungsreihe in rtp 23 (1981) H. 10ff.

[3.36] *Kriesel, W.*: Weiterentwicklung von Mikrorechner-Automatisierungssystemen unter dem Einfluß intelligenter Funktionseinheiten. msr 29 (1986) H. 2, S. 50—53

[3.37] *Pfleger, J.*: Kommunikationssystem Feldbus. atp 28 (1986) H. 5, S. 223—227

[3.38] Siehe [2.2]

[3.39] *Krause, J.*: audatec — mikrorechnergestütztes Konzept zur Steuerung und Regelung in Automatisierungsanlagen. Elektrie 37 (1983) H. 1, S. 5—9

[3.40] *Welzel, H.*: Das mikroelektronische Automatisierungssystem audatec — Aufbau, Funktion, Anwendungen. WTI KAAB/KEA 19 (1983) H. 4, S. 146—152

[3.41] *Pagel, P.*: Ein Leitanlagen-Kommunikationssystem als Werkzeug zur Handhabung dezentraler Prozeßleitsysteme. rtp 23 (1981) H. 7, S. 240—244

[3.42] *Charwat, H.-J.*: Prozeß-Rechner-Bedienungen. rtp 24 (1982) H. 2, S. 40—48

[3.43] *Matern, B.*: Zur Aufgabenverteilung zwischen Mensch und Automatisierungseinrichtung. msr 27 (1984) H. 12, S. 536—540

[3.44] *Venda, V.*; *Lomov, B.*: Informaciomnoe vzaimodejstvie čeloveka i mašiny (Informationelle Wechselwirkung von Mensch und Maschine). Moskau: Progress 1983

[3.45] *Töpfer, H.*; *Willem, H.*; *Fuchs, H.*: Zum Stand der Anwendung moderner Automatisierungsmittel. msr 27 (1984) H. 1, S. 2—7

[3.46] *Bomko, A. S.*: Mikro-EVM v sistemach upravlenija proizvodstvom (Mikrorechner in Systemen zur Steuerung der Produktion). Moskau: Technika 1984

[3.47] *Hück, A.*: Verbesserung der Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit von Prozeßleitsystemen. atp 28 (1986) H. 2, S. 75—81

[3.48] *Nix, H. G.*: Sichere Mikroprozessorsysteme für Schutzaufgaben bei der Prozeßautomatisierung. atp 28 (1986) H. 3, S. 130—135

[3.49] *Euringer, M.*; *Reichert, W.*: Projektierung der Prozeßschnittstellen bei einem hochverfügbaren und fehlersicheren Automatisierungssystem. atp 28 (1986) H. 11, S. 537—543

[3.50] *Baldeweg, F.*; *Balzer, D.*; *Brack, G.*: Automatische Prozeßsicherung in Produktionssystemen. RA Bd. 204. Berlin: VEB Verlag Technik 1984

[3.51] VEM-Handbuch Zuverlässigkeit von Automatisierungs- und Elektroenergie-Anlagen. Berlin: VEB Verlag Technik 1981

[3.52] *Hiebsch, W.*: Beitrag zur Bewertung von Automatisierungsanlagen. Der VEM-Elektro-Anlagenbau 14 (1978) H. 1, S. 43—46

[3.53] Zusammenstellung der verbindlichen Projektierungs- und Inbetriebsetzungsvorschriften des Kombinats Automatisierungsanlagenbau und des VEB Kombinat Elektroenergieanlagenbau. VEM-Projektierungsvorschrift 0.2/. . . ZFT EPA

[3.54] *Dutschke, H.*; *Grebenstein, K.*: Explosionsschutz in Automatisierungsanlagen. RA Bd. 190. Berlin: VEB Verlag Technik 1980

[3.55] *Pester, J.*: Rechtsvorschriften des elektro-, BMSR- und nachrichtentechnischen Brand- und Explosionsschutzes. Der Elektro-Praktiker 36 (1982) H. 5, S. 165—168

Abschnitt 4.

[4.1] *Fuchs, H.*; *Plöckinger, W.*: Weiterentwicklung des Systems ursamat unter dem Einfluß der Mikroelektronik. msr 24 (1981) H. 4, S. 211—216

[4.2] TGL 26047/01 bis /04 Elektrisches Relaissystem RELOG

[4.3] Kenndatenblätter RELOG. Katalog Automation VEB GRW Teltow, Abschn. 42.41

[4.4] Kenndatenblätter TRANSLOG 2. Elektrisches Digitalsystem. Druckschrift KEAW Berlin, Vertrieb: Abt. AT

[4.5] Projektierungshinweise TRANSLOG 2. Druckschrift KEAW Berlin, Vertrieb: Abt. D-AT

[4.6] Kenndatenblätter Neuentwicklungen TRANSLOG 2. Druckschrift KEAW Berlin, Vertrieb: Abt. AT

[4.7] VEM-Projektierungsvorschrift Ordnungs-Nr. 6.5/6.76. Elektronisches Digitalsystem TRANSLOG 2. ZFT EPA

[4.8] *Gottschalk, H.*: Verbindungsprogrammierte und speicherprogrammierbare Steuereinrichtungen. RA Bd. 209. Berlin: VEB Verlag Technik 1984

[4.9] TGL 33567/01 bis /05 Meß-, Steuerungs- und Regelungstechnik; Elektronisches Blockbausteinsystem zum Aufbau von Steuerungen mit Signalfrequenzen bis 10 kHz

[4.10] *Näser, P.*: D 410 D — eine IS für industriellen Einsatz unter prozeßnahen Bedingungen. rfe 30 (1982) H. 10, S. 618—622

[4.11] TGL 37534 Meß-, Steuerungs- und Regelungstechnik; System ursamat; Elektronisches Baugruppensystem ursalog 4000; Begriffe, Systemeigenschaften. Ausgabe Juli 1981

[4.12] TGL 12468 Anfahr- und Signalordnung für Anlagen zentralgesteuerter technologischer Prozesse

[4.13] Kenndatenblätter ursalog 4000. Katalog Automation VEB GRW Teltow, Abschn. 42.615

[4.14] Kenndatenblätter ursalog 4000. Druckschrift KEAW Berlin, Vertrieb: Abt. AT

[4.15] VEM-Projektierungsvorschrift Ordnungs-Nr. 6.2/10.79. Elektronisches Steuerungssystem ursalog 4000, Teil 1; Ordnungs-Nr. 6.2/3.81 — Teil 2, Zustandsspeicher-BG 2717. ZFT EPA

[4.16] *Zahn, W.*; *Neubert, P.*; *Richter, B.*: Einsatz des Baugruppensystems ursalog 4000 zur Realisierung der Grundverknüpfungsebene. Der VEM-Elektro-Anlagenbau 15 (1979) H. 1, S. 12—16

[4.17] *Wiechert, K.*; *Schulze, A.*: Einsatz des Baugruppensystems ursalog 4000 zur Realisierung der Funktionsverknüpfungsebene. Der VEM-Elektro-Anlagenbau 15 (1979) H. 1, S. 16 bis 20

[4.18] *Starke, P. H.*: Petri-Netze. ZKI-Information (1979) H. 3 (104 Lit.)

[4.19] *Gottschalk, H.*: ursalog 4000 — ein neues digitales Baugruppensystem. Impuls 20 (1981) H. 2, S. 66—68

[4.20] *Könitzer, L.*: Anwendung der Zustandsspeicher-Baugruppe des Baugruppensystems ursalog 4000. Impuls 20 (1981) H. 4, S. 156—160

[4.21] *Gottschalk, H.*: ursalog 4000 — Ein digitales Baugruppensystem für verbindungsprogrammierte Steuerungen. msr 24 (1981) H. 4, S. 216—220

[4.22] Speicherprogrammierbare Steuereinrichtung ursalog 5020. Kundeninformation KEAW

[4.23] Elektronisches Einrichtungssystem ursadat 5000. Kundeninformation KEAW

[4.24] *André, L.*: Aufbau und Funktion der Robustperipherie ursalog 5020. Impuls 23 (1983) H. 1, S. 18—22

[4.25] Programmierhandbuch für SPS ursalog 5020. KEAW Berlin

[4.26] *Kozarisczuk, R.*; *Poppe, H.*: Fachsprache PN 5000 zur Beschreibung von steuerungs- und regelungstechnischen Aufgaben innerhalb der Anlagenautomatisierung. msr 24 (1981) H. 5, S. 273—276

[4.27] Projektierungs-, Programmierungs- und Inbetriebnahmehinweise ursalog 5010. Inst. f. Regelungstechnik im KEAW

[4.28] *Fischer, D.*; *Moeckel, F.*: Hard- und Softwarestrukturen von speicherprogrammierbaren Steuerungen. msr 24 (1981) H. 5, S. 249—251

[4.29] *Deja, L. H.*: Entwicklungstendenzen bei programmierbaren Steuerungen. Elektronik 32 (1983) H. 6, S. 101—104

[4.30] *Wratil, P.*: Speicherprogrammierbare Steuerungen. Elektronik 35 (1986) H. 7, S. 128—137

[4.31] *Weidlich, S.*: Bildschirmgestützte Programmentwicklung und Dokumentation von Verknüpfungs- und Ablaufsteuerungen. atp 28 (1986) H. 6, S. 282—290; H. 7, S. 340—345

Abschnitt 5.

[5.1] VEM-Taschenbuch Automatisierungs- und Elektroenergie-Anlagen. 4. Aufl. Berlin: VEB Verlag Technik (erscheint 1986)

[5.2] Siehe [4.16]

[5.3] Siehe [4.17]

[5.4] *Sadowski, H.*; *Sawatzky, J.*: Das neue Automatisierungssystem für verfahrenstechnische Anlagen. WTI KAAB 17 (1981) H. 1, S. 3—6

[5.5] *Neumann, P.*: Zur Auslegungsberechnung bei verteilten Automatisierungsanlagen. msr 24 (1981) H. 5, S. 279—283

[5.6] *Will, U.*: Einsatz von Mikrorechnern zur digitalen Drehzahlsollwertvorgabe in kontinuierlichen Draht- und Feinstahlstraßen. Elektrie 35 (1981) H. 12, S. 628—630

[5.7] *Kozarisczuk, R.*, u. a.: Fachsprache PN 5000 als Programmiermethodik der neuen Automatisierungsanlagengeneration. Der VEM-Elektro-Anlagenbau 16 (1980) H. 4, S. 145 bis 147

[5.8] *Riefenstahl, U.*; *Will, H.*; *Deidler, M.*: Einsatz von Sollwertrechnern zur Steuerung von Walzwerksantrieben. Der VEM-Elektro-Anlagenbau 16 (1980) H. 4, S. 157—166

[5.9] *Könitzer, L.*; *Seidelmann, K.*; *Jahn, G.*: Speicherprogrammierbare Steuereinrichtung ursalog 5010. msr 24 (1981) H. 4, S. 220—224

[5.10] *Schulz, R.*: Das Steuerungssystem ursalog 5010 zur Realisierung industrieller Steuerungsabläufe. WTI KAAB 17 (1981) H. 2, S. 90—93

[5.11] *Battke, R.*; *Seifert, H.-J.*; *Siebert, W. D.*: Produktionsmöglichkeiten für Prozeßsteuerungen mit ursalog 4000. WTI KAAB 17 (1981) H. 3, S. 103—104

[5.12] *Wiechert, K.*; *Könitzer, L.*: Einsatz des Baugruppensystems ursalog 4000 in Steuerungsanlagen. Der VEM-Elektro-Anlagenbau 15 (1979) H. 1, S. 1—7

[5.13] *Pohl, R.*: Anlagenaufbau mit dem Steuerungssystem ursalog 4000. Der VEM-Elektro-Anlagenbau 15 (1978) H. 4, S. 155—159

[5.14] *Heinicke, H.-Ch.*; *Ritter, H.*: Anwendung einer Vor-Ort-Station zur Steuerung einer Bindemaschine. Der VEM-Elektro-Anlagenbau 16 (1980) H. 1, S. 14—16

[5.15] *Habiger, E.*: Aktuelle Entwicklungstendenzen in der industriellen Steuerungstechnik unter dem Einfluß der Mikroelektronik. Elektrie 35 (1981) H. 10, S. 513—518

[5.16] *Weller, W.*: Anwendung der Mikroelektronik in der Prozeßautomatisierung. RA Bd. 187. 2. Aufl. Berlin: VEB Verlag Technik 1981

[5.17] *Gottschalk, H.*: Digitale Bausteinsysteme für elektronische Steuerungen. RA Bd. 189. Berlin: VEB Verlag Technik 1980

[5.18] *Gratzki, V.*: Kraftwerks-Leittechnik Procontrol P für den 750-MW-Kombiblock Gersteinwerk k. BBC Nachr. 64 (1982) H. 2, S. 65 u. 66

[5.19] Kenndatenblattsammlung ursalog 4000. Herausgeber: KEAW

[5.20] Siehe [4.15]

[5.21] TGL 12468 Anfahr- und Signalordnung für Anlagen zentralgesteuerter technologischer Prozesse. Ausg. August 1979

[5.22] TGL 32991/02 Automatisierungsanlagen, Begriffe und Symbole. Ausg. Juni 1976

[5.23] TGL 30817 Sicherheitsfarben und Sicherheitszeichen; Allgemeine Festlegungen. Ausg. Januar 1976

[5.24] TGL 13097 Taster und Leuchtmelder. Ausg. Mai 1978

[5.25] TGL 30108/01 GAB; Funktionsbezogene Kennzeichnung von Betätigungs- und Anzeigeelementen; Allgemeine Festlegungen. Ausg. April 1981

[5.26] TGL 30108/02 GAB; Funktionsbezogene Kennzeichnung von Betätigungs- und Anzeigeelementen; Ausgewählte Funktionen. Ausg. März 1978

[5.27] *Jossi, H.*; *Schweizer, P.*: Prozeßleittechnik mit der Systemfamilie DP für Zementanlagen. Brown-Boveri-Mitt. 68 (1981) H. 10/11, S. 365—372

[5.28] VEM-Handbuch Leistungselektronik. 3. Aufl. Berlin: VEB Verlag Technik 1983

[5.29] VEM-Handbuch Die Technik der elektrischen Antriebe, Grundlagen. 8. Aufl. Berlin: VEB Verlag Technik 1985

[5.30] *Vogel, J.*, u. a.: Grundlagen der elektrischen Antriebstechnik mit Berechnungsbeispielen. 3. Aufl. Berlin: VEB Verlag Technik 1983

[5.31] *Heinicke, H.-C.*: Automatisierung einer Schaumpolyäthylen-Aderstraße mit Vor-Ort-Stationen. WTI KAAB 18 (1982) H. 2, S. 63—65

[5.32] *Brandt, W.*: Leistungsfähige Mikroelektronik in kontinuierlichen Warmwalzwerken. WTI KAAB 18 (1982) H. 2, S. 75—79

[5.33] Siehe [3.16]

[5.34] *Krause, J.*; *Wolf, R.*: Zur Realisierung von Logikschaltanlagen mit Festwertspeichern. WTI KAAB 17 (1981) H. 5, S. 220—223

[5.35] *Jahn, G.*; *Haberlang, F.*: Anwendung der speicherprogrammierbaren Steuereinrichtung ursalog 5010 für Drehstromantriebssteuerungen in Walzwerken. WTI KAAB 17 (1981) H. 2, S. 93—96

[5.36] Simatic S 5/Automatisierungsgeräte S 5—150. Siemens-Firmenschrift, Katalog ST 55 — 1981

[5.37] Automatisierungssystem Contronic 3. Hartmann & Braun Firmenschrift, Dokumentation 66-003

[5.38] VEM-Handbuch Elektroenergieanlagen — Anlagentechnik. Berlin: VEB Verlag Technik 1981

[5.39] PROCONTROL P. Digitales, dezentrales Kraftwerksleitsystem mit BUS-Übertragung. BBC-Firmenschrift DGK 1367 80 D
[5.40] PROCONTROL. Steuerungssystem Decontic K. BBC-Firmenschrift. DGK 90 336 D
[5.41] *Wetzel, W.*: Rationelle Entwicklung von Zeichengeneratoren für quasigrafische Bildausgabegeräte. WTI KAAB 18 (1982) H. 5, S. 201 u. 202
[5.42] *Guhrt, R.*; *Schob, D.*; *Wätzel, J.*: Das Bedienpult im Automatisierungssystem für verfahrenstechnische Anlagen. WTI KAAB 17 (1981) H. 1, S. 10—14
[5.43] *Haußen, D.*: Einsatz von Bildschirmeinheiten im Prozeßrechnersystem des Kraftwerks Jänschwalde. WTI KAAB 18 (1982) H. 2, S. 60—63
[5.44] *Pohl, R.*: Unterbrechungsfreie Stromversorgung für Prozeßsteuerungen mit ursalog 4000. WTI KAAB 17 (1981) H. 5, S. 217—220
[5.45] *Gerke, E.*; *Künzel, W.*: Bedientastatur und Anschlußsteuerung für den Mikrorechner K 1520. WTI KAAB 17 (1981) H. 2, S. 70—73
[5.46] *Bentler, K.*: Ansteuereinheit für ein quasigrafisches Farbdisplay. WTI KAAB 17 (1981) H. 2, S. 73—76
[5.47] *Kutzsche, W.*; *Weingarten, J.*: Mensch-Maschine-Kommunikation für die Prozeßführung von Industrieanlagen. BBC-Firmenschrift Leittechnik in Industrieanlagen. Druckschrift Nr. DIA 1235 80 D, S. 50—58
[5.48] *Althaus, W.*; *Noppenau, U.*: Moderne Leittechnik für die Zementindustrie. BBC-Firmenschrift Leittechnik in Industrieanlagen. Druckschrift Nr. DIA 1235 80 D, S. 147—155
[5.49] *Stepinski, B.*; *Cvetka, H.*: Leittechnik in Pumpspeicherwerken. BBC-Mitt. 69 (1982) H. 6, S. 201—206
[5.50] TGL 33217/01 bis /05 Kraftwerke; Anlagenbezeichnung. Ausg. März 1983
[5.51] TGL 24964/02; 07 Kontaktgebende Niederspannungsgeräte; Kastensystem IP 54; Leerkästen (02); Klemmenkasten (07). Ausg. Juni 1981
[5.52] TGL 29329/02; 05 Kontaktgebende Niederspannungsgeräte; Kastensystem IP 56; Leerkästen (02); Klemmenkasten (05). Ausg. Juni 1982
[5.53] Finower Standardkasten-System FSk. Prospekt des VEB Schiffsarmaturen- und Leuchtenbau Finow

Abschnitt 6.

[6.1] *Färber, G.*: Stand und Tendenzen der Mikroprozessor-Technologie. rtp 21 (1979) H. 4, S. 89—96
[6.2] *Völz, H.*: Allgemeine Systematik und Grenzen der Speicherung. die Technik 34 (1979) H. 12, S. 658—665
[6.3] *Faggin, F.*: VLSI verändert Computerstrukturen. Elektronik 27 (1978) H. 12, S. 57—61
[6.4] *Kaltenecker, H.*; *Sinn, G.*: Entwicklungsrichtungen in der Steuerungstechnik. Siemens. — Z. 51 (1977) H. 9, S. 683—688
[6.5] *Bechen, v. P.*: Speicherprogrammierbare Steuerungen — Technischer Stand, Trends und Markt. Elektronik 29 (1980) H. 14, S. 41—53
[6.6] *Pilz, S.*: Betrachtungen zur Anwendung der Mikroelektronik in der Automatisierungstechnik. msr 23 (1980) H. 5, S. 278—281
[6.7] *Dirks, Ch.*; *Krinn, H.*: Mikrocomputer II. Stuttgart: Verlag Berliner Union 1979
[6.8] *Kadegge, G.*: Rationalisierung der Ingenieurarbeit am Beispiel des industriellen Anlagengeschäfts. Siemens-Z. 51 (1977) H. 8, S. 574—581
[6.9] *Habiger, E.*: Industrielle Steuerungen — Systematik, Entwicklungstendenzen und Schwerpunktaufgaben. Elektrie 30 (1976) H. 1, S. 33—35
[6.10] *Grimm, R.*; *Hertlin, O.*: Wege zu Programmsystem-Produktionsmitteln. rtp 22 (1980) H. 9, S. 314—321
[6.11] *Bratranek, M.*: Veränderungen im Projektierungsprozeß durch interaktive Methoden. Energietechnik 31 (1981) H. 4, S. 147—149

[6.12] *Klingenberg, G.*; *Vertraag, E*: Einsatz programmierbarer Steuerungen aus der Sicht des Anwenders. VDI-Bericht Nr. 263/1976, S. 21–27

[6.13] *Engl, W. L.*; *Mucka, J.*: Die Software in der Großintegration. Elektronikanzeiger 10 (1978) H. 10, S. 21–23

[6.14] *Koch, G.*: Systematisches Softwareengineering für Mikrocomputer. Elektronik 28 (1979) H. 21, S. 49–56

[6.15] *Goulden, O. A.*: Der zukünftige Weltmarkt für Elektrotechnik. etz 103 (1982) H. 18, S. 1053–1056

[6.16] Siehe [3.27]

[6.17] *Habiger, E.*: Die Planung und Projektierung verbindungsprogrammierter elektronischer Steuerungen. Elektrie 34 (1980) H. 6, S. 283–288

[6.18] *Arpke, H. O.*: Untersuchungsergebnisse zu einer rationellen Technologie der Elektroprojektierung. Elektrie 33 (1979) H. 2, S. 89–92

[6.19] *Münch, J.*: Die Speicherung auftragsneutraler Erzeugnis- und Schaltungsinformationen für rechnergestützte Erstellung von Projektierungs- und Fertigungsunterlagen. Der Elektro-Praktiker 32 (1978) H. 3, S. 83–85

[6.20] *Schneider, M.*: Auf dem Weg zur Submikroelektronik. spectrum (1981) H. 9, S. 27–29

[6.21] *Sacharow, W. N.*; *Pospelow, D. A.*; *Chasazki, W. E.*: Steuerungssysteme. Berlin: Akademie-Verlag 1979

[6.22] *Hess, K.*: Rationelle Produktionsvorbereitung bei digitalen Systemen – ein Hauptfaktor der Intensivierung. Der VEM-Elektro-Anlagenbau 13 (1977) H. 1, S. 5–13

[6.23] *Müller, J.*: Grundlagen der systematischen Heuristik. Berlin: Dietz Verlag 1970

[6.24] *Wolf, H.*: Die Stufen der Aufgabenfixierung bei der Projektierung von Binärsteuerungen. Wiss. Z. der Techn. Hochsch. Leipzig 5 (1981) H. 1, S. 5–9

[6.25] *Krause, J.*: Mikroprozessoren und Mikrorechner im Automatisierungsanlagenbau. Der Elektro-Praktiker 33 (1979) H. 5, S. 170–174; H. 6, S. 211–213

[6.26] Siehe [2.21]

[6.27] Siehe [2.24]

[6.28] Siehe [2.15]

[6.29] Siehe [2.22]

[6.30] Siehe [2.17]

[6.31] *Habiger, E.*; *Heß, K.*: Zur Funktionsbeschreibung industrieller Steuerungen mit fester logischer Struktur. Elektrie 27 (1973) H. 7, S. 358–362

[6.32] *Oberst, E.*: Zur Erarbeitung und Formulierung der Aufgabenstellung für techn. Schaltsysteme. msr 19 (1976) H. 6, S. 201–205

[6.33] Siehe [3.51]

[6.34] Siehe [2.7]

[6.35] Zentraler Projektierungskatalog (ZPK) – Katalog Projektierungsverfahren. VEB Elektroprojekt und Anlagenbau Berlin 1979/80

[6.36] *Heyer, A.*; *Schwarzer H.*: Der Entwurfsprozeß der Hardware von Datenverarbeitungsanlagen und seine Unterstützung durch Programme und Geräte. Nachrichtentechn. Fachberichte (1974) S. 23–29

[6.37] *Gödecke, W. D.*: Problemeingabe, -analyse und -korrektur beim rechnergestützten Entwurf von Ablaufsteuerungen. In: Fachberichte Messen-Steuern-Regeln (Hrsg.: *Syrbe, M.*, *u. Thoma, M.*). Bd. 2. Entwurf digitaler Steuerungen (Hrsg.: *Fasol, K. H.*)

[6.38] *Habiger, E.*; *Heß, K.*: Der Programmablaufplan – ein effektives Arbeitsmittel für die Planung, Projektierung, Beschreibung, Prüfung, Inbetriebnahme und Wartung industrieller Steuerungen. Der VEM-Elektro-Anlagenbau 12 (1976) H. 1, S. 1–9

[6.39] *Wendt, S.*: Entwurf komplexer Schaltwerke. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag 1974

[6.40] *Künzel, R.*: Das State-Diagramm. Elektronik 22 (1973) H. 2, S. 47–52; H. 3, S. 97–100

[6.41] *Oberst, E.*, u. a.: Beschreibung binärer Steuerungen durch Steuergraphen. msr 21 (1978) H. 10, S. 572–578

[6.42] *Oberst, E.*; *Despang, H.-G.*: Rationelle Mikrorechnerprogrammierung in der Steuerungstechnik. msr 24 (1981) H. 6, S. 320–325

[6.43] Siehe [4.15]

[6.44] *Sachs, H.*: Einführung in die Theorie der endlichen Graphen, T. I. Mathematisch-Naturwiss. Bibliothek. Bd. 43. Leipzig: BSB B. G. Teubner Verlagsgesellschaft 1970

[6.45] *Engelhardt, H.*: Programmentwicklung mit Zustandsgraphen. Elektronik 29 (1980) H. 14, S. 59–62

[6.46] *Hölzler, E.*; *Meyenburg, U.*: Der Zustandsgraph in der µC-Programmierung T. I. Elektronik 30 (1981) H. 3, S. 55–61

[6.47] Siehe [5.34]

[6.48] *Krug, H.*; *Hammer, V.*: Möglichkeiten des Entwurfs eines Frequenz-Digital-Umsetzers als synchrones Schaltwerk. msr 24 (1981) H. 2, S. 75–79

[6.49] *Killenberg, H.*: Verhaltensbeschreibung von Schaltsystemen mit Hilfe von Programmablaufgraphen. msr 19 (1976) H. 6, S. 197–201

[6.50] *Starke, P.*: Petri-Netze. Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften 1980

[6.51] *Meyer, G.*; *Fensch, S.*: Beschreibung, Analyse und Implementierung von software-realisierten Steuerungen durch Petri-Netze. msr 24 (1981) H. 9, S. 508–512

[6.52] *Pol, B.*: Betriebssysteme. Elektronik 30 (1981) H. 2, S. 2–15

[6.53] *Wettstein, H.*: Aufbau und Struktur von Betriebssystemen. München, Wien: Hanser Verlag 1978

[6.54] Siehe [5.15]

[6.55] *Hagn, R.*; *Schleemilch, W.*: Auswahlkriterien speicherprogrammierbarer Steuerungen. etz 102 (1981) H. 18, S. 958–962

[6.56] *Herforth, M.*; *Petry, J.*: Programmierung speicherprogrammierbarer Steuerungen (SPS). etz 102 (1981) H. 18, S. 963–968

[6.57] *Kroneberg, A.*: Vergleich von Übersetzungsverfahren. Elektronik 30 (1981) H. 10, S. 84 bis 86

[6.58] *Groschupf, E.*: Regeln für Erstellung von Mikrocomputer-Software. Elektronik 28 (1979) H. 2, S. 49–55

[6.59] *Adler, H.*; *Horn, Th.*: Zur Methodik der Programmierung von Mikrorechnern. msr 23 (1980) H. 5, S. 251–254

[6.60] *Schmidt, G.*; *Swik, R.*: Softwarefragen beim Einsatz von Mikrorechnern für MSR-Aufgaben. rtp 20 (1978) H. 5, S. 143–150

[6.61] Assembler-Sprachbeschreibung MAPS-K1520. VEB Robotron, ZFT Dok.-Nr. 1.78.019030.0/78.

[6.62] Siehe [4.26]

[6.63] *Berger, H.*, u. a.: Automatisierungsaufgaben rationell programmieren mit STEP 5. Siemens-Energietechnik 1 (1979) H. 3, S. 78–81

[6.64] *Maier, U.*: Nach Funktionsplänen programmiertes Steuerungssystem. etz 102 (1981) H. 23, S. 1215 u. 1216

[6.65] *Lauber, R.*: Möglichkeiten und Grenzen höherer Programmiersprachen. Neue Technik 22 (1980) H. 5, S. 29–34

[6.66] *Schnupp, P.*; *Floyd, C.*: Software-Programmentwicklung und Projektorganisation. Berlin, New York: Walter de Gruyter 1976

[6.67] *Stoll, D.*: EMC – Elektromagnetische Verträglichkeit. Berlin: Elitera-Verlag 1976

[6.68] *Habiger, E.*: Maßnahmen zur Gewährleistung der Störfestigkeit automatisierter Systeme. Der Elektro-Praktiker 33 (1979) H. 5, S. 165–169

[6.69] *Richter, W.*: *Schmidt, K.*: Ergebnisse aus Störspannungsmessungen an Signalleitungen der BMSR-Technik. msr 18 (1975) H. 8, S. 298–300

[6.70] *Krause, J.*; *Wolf, R.*: Hilfseinrichtungen für die analoge Informationsverarbeitung von Thyristor-Stromrichterantrieben. Elektrie 29 (1975) H. 1, S. 32–34

[6.71] VEM-Handbuch Leistungselektronik. 3. Aufl. Berlin: VEB Verlag Technik 1983

[6.72] *Franke, G.*; *Quäk, L.*: Beeinflussung von Steuerkabeln bei Schaltvorgängen in 220-kV-Umspannwerken. msr. 19 (1976) H. 10, S. 350—355

[6.73] *Melzer, F.*: Probleme der Störbeeinflussung informationsverarbeitender Einrichtungen durch externe Störungen und die Simulation dieser Störungen als Voraussetzung für eine Klassifizierung. Diss. TU Dresden 1974

[6.74] *Altmann, K.*, u. a.: Störspannungsmessung an einem 500-MW-Kraftwerksblock. Techn. Information KEAW Berlin 15 (1977) H. 4, S. 209—214

[6.75] *Krause, J.*: Probleme der Zuverlässigkeit bei informationselektronischen Einrichtungen für Stromrichteranlagen. Elektrie 30 (1976) H. 7, S. 357—359

[6.76] *Mayer, J.*: Die Zuverlässigkeit von Systemen. Techn. Rundschau (1973) H. 47, S. 27—31

[6.77] *Isphording, U.*: Methoden zur Berechnung von Zuverlässigkeitskenngrößen redundanter komplexer Systeme. Archiv El. Übertragung 22 (1968) H. 7, S. 337—342

[6.78] *Wegener, F.*, u. a.: Zur Betriebszuverlässigkeit automatisierter technologischer Prozesse. rfe 31 (1982) H. 4, S. 210—213

[6.79] *Nikolaizik, J.*: Gedanken zum Aufbau eines Datenrückmeldesystems. Der VEM-Elektro-Anlagenbau 12 (1976) H. 1, S. 10—16

[6.80] *Hendrich, S.*: Datenrückmeldesystem, eine Methode zur Qualitätsanalyse. Der VEM-Elektro-Anlagenbau 12 (1976) H. 2, S. 80—84

[6.81] *Friedewald, W.*; *Charwat, H. J.*: Prozeßbeobachtung und Bedienung mit normierten Darstellungen auf Sichtgeräten. rtp 21 (1979) H. 6, S. 159—164

[6.82] Siehe [5.32]

[6.83] *Ogdin, C. A.*: µP-programming languages. EDN 22 (1977) H. 21, S. 125—128

[6.84] *Neumann, P.*, u. a.: A study of fault toleranz computing. Final Report SRI Projekt 1693 Stanford Research Inst. July 31, 1973

[6.85] *Schmidt, G.*; *Sendler, W.*: Redundanzkonzepte in modernen Prozeßautomatisierungssystemen. rtp 22 (1980) H. 9, S. 310—313

[6.86] *Zerbst, H.*: Sicherung der Softwarequalität. Elektronik 30 (1981) H. 14, S. 59—64

[6.87] *Kriesel, W.*; *Chorchordin, A. W.*: Problemstellungen der Software-Zuverlässigkeit bei Automatisierungssystemen mit Mikrorechnern. msr 24 (1981) H. 6, S. 316—320

[6.88] Zentraler Projektierungskatalog (ZPK) — Steuerungssysteme, Teil ursalog 4000. VEB Elektroprojekt und Anlagenbau Berlin 6/1979

[6.89] *Münch, J.*: Erzeugnis- und Schaltungsstammdaten in der rechnergestützten Projektierung von binären Prozeßsteuerungen. msr 24 (1981) H. 2, S. 89—95

[6.90] *Drapatz, B.*, u. a.: Das Mikrorechner-Entwicklungssystem robotron MRES 20 und seine Anwendung. NTB 23 (1979) H. 12, S. 34

[6.91] *Sollmann, G.*: Floppy-Disk-Technik. Marktaussichten und Weiterentwicklungen. Elektronik 29 (1980) H. 7, S. 84—88

[6.92] N. N.: Beschreibung des Betriebssystems SBS. Inst. f. Elektro-Anlagen, Berlin 1981

[6.93] *Kapori, A. A.*; *Holden, R. N.*: An engineer's view of the assurance and control of software quality. Electronics & Power 28 (1982) H. 7/8, S. 508—510

[6.94] *Krekel, D.*; *Trier, D.*: Die Programmsprache PASCAL. Wiesbaden: Vieweg & Sohn 1981

[6.95] *Steinbuch, K.*: Vom Werkzeug zum Denkzeug. rtp 22 (1980) H. 12, S. 430—436

[6.96] *Schwadtke, D.*; *Platz, W.-W.*: Betrachtungen zur Methodik der Zuverlässigkeitsarbeit an der Automatisierungstechnik der 500-MW-Blockeinheiten. msr 25 (1982) H. 8, S. 444 bis 450

[6.97] *Baumann, R.*: Programmdokumentation. Elektroniker 19 (1980) H. 8, EL1—EL4

[6.98] Siehe [4.28]

[6.99] *Habiger, E.*: Programmierbare Steuerungen in den USA — eine Übersicht. msr 25 (1982) H. 7, S. 395—398

[6.100] *Witt, G.*; *Näbert, D.*: Rechnergestützte Textbearbeitung am Bildschirm. WTI KAAB 18 (1982) H. 6, S. 250—253

[6.101] *Schulz, A.*: Vom CAD zum CAS. Angewandte Informatik 24 (1982) H. 12, S. 607—644

[6.102] *Krause, J.*: Mikrorechner zur Steuerung und Regelung elektrischer Antriebe. Elektrie 36 (1982) H. 1, S. 20 u. 21

[6.103] Siehe [1.4]

[6.104] *Färber, G.*: Mikroelektronik — Entwicklungstendenzen und Auswirkungen auf die Automatisierungstechnik. rtp 24 (1982) H. 10, S. 326—336

[6.105] *Töpfer, H.*; *Kriesel, W.*: Zum Generationswechsel bei Automatisierungssystemen. rtp 24 (1982) H. 10, S. 336—341

[6.106] *Peschel, M.*: Ingenieurtechnische Entscheidungen — Modellbildung und Steuerung mit Hilfe der Polyoptimierung. Berlin: VEB Verlag Technik 1980

[6.107] *Habiger, E.*: Möglichkeiten zur Erhöhung der Effektivität wissenschaftlicher Arbeitsprozesse — Ratschläge für angehende Ingenieure und junge Wissenschaftler. Elektrie 36 (1982) H. 7, S. 339—341

[6.108] VEM-Projektierungsvorschrift Ordnungs-Nr. 7.10/12.82. Logikplan. ZFT EPA

[6.109] VEM Projektierungsvorschrift Ordnungs-Nr. 6.2/4.84. Elektronisches Steuerungsystem ursalog 4000; Teil 4, Zeitbewertete Petri-Netze. ZFT EPA

[6.110] VEM-Handbuch Elektrische Störbeeinflussung in Automatisierungs- und Datenverarbeitungsanlagen. Berlin: VEB Verlag Technik 1973

[6.111] *Templin, H.*: Elektromagnetische Verträglichkeit — Ein wichtiger Parameter für elektronische Geräte. Schiff & Hafen/Kommandobrücke 34 (1982) H. 5, S. 72—77

[6.112] *Habiger, E.*: Elektromagnetische Verträglichkeit. RA Bd. 212. Berlin: VEB Verlag Technik 1984

[6.113] VEM-Projektierungsvorschriften Ordnungs-Nr. 6.9 Automatisierte Systeme zur Steuerung technologischer Prozesse (ASU TP), Teil 1 bis 9. ZFT EPA

[6.114] *Dittrich, W.*: Integriertes Datenverarbeitungssystem (IDVS). Berlin: VEB Elektroprojekt und Anlagenbau (Hrsg.) 1983

[6.115] *Gewald, K.*; *Haake, G.*; *Pfadler, W.*: Software Engineering — Grundlagen und Technik rationeller Programmentwicklung. München, Wien: Verlag R. Oldenbourg 1982

[6.116] *Haugg, F.*: Software-Engineering und ihre Qualitätssicherung. München: Franzis-Verlag 1983

[6.117] *Bock, H.*: Erfahrungen mit speicherprogrammierbaren Steuerungen in der chemischen Verfahrenstechnik. rtp 26 (1984) H. 1, S. 23—27

[6.118] *Krebs, H.*: Zum Problem des Entwurfs und der Prüfung sicherheitsrelevanter Software. rtp 26 (1984) H. 1. S. 28—33

[6.119] VDI-Richtlinie VDI 2880, Bl. 4. Speicherprogrammierbare Steuerungsgeräte — Programmiersprachen (vgl. dazu auch DIN 40719, T. 6)

[6.120] *Iudica, N. R.*: Expertensysteme rtp 26 (1984) H. 9, S. 402—405

[6.121] *Oefler, O.*; *Claßen, L.*: Mikroprozessor-Betriebssysteme. RA Bd. 201, 2. Aufl. Berlin: VEB Verlag Technik 1984

Abschnitt 7.

[7.1] Siehe [5.11]

[7.2] N. N.: Programmer S — 3002.520. Information VEB Funkwerk Erfurt

[7.3] *Beyer, W.*; *Löschner, W.*; *Bödeker, K.*: Technologie des Elektroanlagenbaus. Berlin: VEB Verlag Technik 1981

[7.4] *Lombardini, R.*: Vorbehandlung von integrierten Schaltkreisen, Bull. SEV/VSE 72 (1981) H. 15, S. 820—825

[7.5] *Birolini, A.*: Bedeutung der Prüfung und Vorbehandlung elektronischer Bauteile und Geräte. Bull. SEV/VSE 72 (1981) H. 15, S. 805—811

[7.6] *Schmidt, D.*: Prüftechnologien zum Erfassen der Frühausfälle bei Erzeugnissen der Leistungselektronik. Elektrie 36 (1982) H. 4, S. 200—203

[7.7] *Frühauf, T.*: Der Logikgenerator, ein Meßgerät der Digitaltechnik. Elektronik (1981) H. 19, S. 89—94

[7.8] *Scholz, R.*, u. a.: Einsatz von Prüfrechnern bei der Prüfung der mikrorechnergesteuerten Gebäudeautomatisierungsanlagen. WTI KAAB 18 (1982) H. 6, S. 246—250

[7.9] *Schmiedtke, P.*, u. a.: Qualitätssicherung digitaler Schaltungen durch mikrorechnergesteuerte Prüfanlage. WTI KAAB 18 (1982) H. 6, S. 242—245
[7.10] *Schaefer, E.*: Fehlerdiagnosen an Mikroprozessoren, Teil 2. Elektrotechnik 63 (1981) H. 4, S. 16—24
[7.11] *Roland, G.*: Programmierbare nichtnumerische Steuerungen — Programmierbares Steuerungs- und Baugruppensystem PS 2000. msr 25 (1982) H. 7, S. 399—401; H. 8, S. 453 u. 454
[7.12] *Marshall, E. C.*; *Duncan, K. D.*: The rofe of withheld information in the training of process plant fault diagnosis. Ergonomics 24 (1981) H. 9, S. 711—724
[7.13] *Hübner, D.*; *Schönherr, E.*: Diagnostik in der Digitaltechnik. Berlin: VEB Verlag Technik 1982
[7.14] *Heß, K.*: Technische Diagnostik und technische Prophylaxe. RA Bd. 193. Berlin: VEB Verlag Technik 1981
[7.15] *Hilpert, B.*; *Schmidt, P.*: Sicherheitsaspekte moderner CNC-Systeme. Elektronik 31 (1982) H. 4, S. 47—52
[7.16] Siehe [6.81]
[7.17] Siehe [6.82]
[7.18] Siehe [6.66]
[7.19] Siehe [6.21]
[7.20] Siehe [6.99]
[7.21] *Fender, K.*: Speicherprogrammierbare Steuerungen. rtp 24 (1982) H. 10, S. 347—351
[7.22] Siehe [6.104]
[7.23] *Musstopf, G.*: Microprocessor hardware and software. In: Software for computer control. Proc. of the 2. IFAC/IFIP Symposium on Software for Computer Control. Prag 1979
[7.24] *Färber, G.*: Fehlertolerante Rechnersysteme für die Prozeßautomatisierung. rtp 24 (1982) H. 5, S. 160—168
[7.25] *Koziolek, H.*: Wissenschaft, Technik und Reproduktion. Berlin: Verlag Die Wirtschaft 1981
[7.26] *Fuchs, H.*; *Fuchs, A.*: Ein Beitrag zur Einschätzung der Marktentwicklung auf dem Gebiet der Automatisierungstechnik. impuls 22 (1982) H. 3, S. 93—96
[7.27] Siehe [6.101]
[7.28] *Selnitschka, R.*; *Zube, H.*: Rückinformationssystem (RIS) zum Erkennen und Beseitigen von Schwachstellen elektronischer Produkte. Siemens Energietechnik 4 (1982) H. 5, S. 252—254
[7.29] N. N.: INTEL Data Catalog 1977/3 — 68
[7.30] *Wenzel, B.*: Umgebungslichteinfluß auf EPROM's. rfe 31 (1982) H. 4, S. 228—230
[7.31] *Strömsdorfer, G.*: Klimaprüfungen zur Steigerung der Zuverlässigkeit elektronischer Baugruppen und Bauteile. Elektroniker (1983) H. 23/24, S. 49—52
[7.32] *Bailey, R. A.*; *Gilbert, R. A.*: Zeitraffende Streßprüfungen zur Aufdeckung von Entwicklungsfehlern. Elektroniker (1983) H. 23/24, S. 61—63
[7.33] *Bödeker, K.*; *Elsner, L.*; *Heese, H.-J.*: Moderne Prüftechnologie sichert hohe Qualität der Erzeugnisse. WTI KAAB/KEA 19 (1983) H. 5, S. 206—210
[7.34] *Grimm, R.*; *Haller, R.*; *Syrbe, M.*: Zur Egonomie von Arbeitsplätzen mit Bildschirmen in der Prozeßwarte. rtp 26 (1984) H. 1, S. 5—11
[7.35] *Müller, W.*: Procontic I — Digitales dezentrales Industrieleitsystem. BBC-Nachr. 66 (1984) H. 1, S. 14—23
[7.36] *Konrad, K.*: Erfahrungen beim Einsatz speicherprogrammierbarer Steuerungen (SPS) aus der Sicht der elektrischen Instandsetzung. Stahl u. Eisen 103 (1983) H. 12, S. 589—592
[7.37] *Krause, J.*: Rechnergestützte Automatisierung in Warmwalzwerken und Zementanlagen mit dem System audatec®. WTI KAAB/KEA 19 (1983) H. 5, S. 194—199
[7.38] *Uhlig, R. J.*: Automatisierung verfahrenstechnischer Anlagen mit Mikrorechner-Systemen — Erfahrungen und Anforderungen. rtp 26 (1984) H. 1, S. 18—22
[7.39] Siehe [6.117]
[7.40] N.N.: MMC 216, Multi-Mikrocomputer-System, Systembeschreibung. Siemens, Ausgabe Okt. 1983

[7.41] *Kadegge, G.*: Automatisierung sichert die Wettbewerbsfähigkeit — elektrische Ausrüstungen für die Automatisierung der Fertigung. Siemens-Z. Energietechnik 4 (1982) H. 5, S. 214—218

[7.42] *Zemanek, H.*: Wird der Computer die Technik vermenschlichen? Elektrotechnik u. Maschinenbau 100 (1983) H. 11, S. 448—458

[7.43] Siehe [6.113]

[7.44] Siehe [6.120]

9. Sachwörterverzeichnis